

УДК 501:548.1

ВОЗМОЖНЫЕ СОСТОЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯРНЫХ СТРУКТУР КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ, НАНОРАЗМЕРНЫХ И ФРАКТАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В ОБЪЕМЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Иванов В.В.

*АО «Особое конструкторско-технологическое бюро «ОРИОН», Новочеркасск,
e-mail: valivanov11@mail.ru*

Предложены варианты описания возможных структурных состояний кристаллических и наноразмерных объектов и характера их сайт- и сайз-распределений в объеме композиционного материала при трении и износе. Рассмотрены основные компоненты описания (rrr, nnn, fff) состояний объектов. Проанализированы вероятные типы упорядоченности/разупорядоченности кристаллических, наноразмерных объектов и фрактальных структур. Фрактальные структуры могут рассматриваться как возможные аппроксиманты конфигураций межфазных границ, сайт и сайз-распределений объектов в объеме антифрикционных композиционных материалов. В связи с этим структурные состояния включают кристаллические, наноразмерные объекты и фрактальные законы их распределения.

Ключевые слова: структурное состояние, модулярные структуры, композиционные материалы, кристаллический объект, наноразмерный объект, сайт и сайз-распределения, фрактальная структура

THE POSSIBLE DISTRIBUTION STATES OF THE MODULAR STRUCTURES OF THE CRYSTAL, NANO-DIMENSIONAL AND FRACTAL OBJECTS INTO VOLUME OF THE ANTI-FRICTION COMPOSITIONAL MATERIALS

Ivanov V.V.

J-SC SDTU «ORION», Novocheerkassk, e-mail: valivanov11@mail.ru

The description variants of the possible structural states of the crystal and nano-dimension objects and variants of its site- and size-distributions into volume of the compositional materials by friction and wear were offered. The main components of description (rrr, nnn, fff) of the objects were considered. The possible ordering/disordering types of the crystal, nano-dimension objects and fractal structures were analyzed. Fractal structures as a possible approximants of the inter-phase borders configurations, site- and size-distributions of the crystal phases and nano-dimension particles into volume of anti-friction compositional materials are considered. Therefore the crystal and nano-dimensional objects and fractal laws of its distributions are included to the structural states description.

Keywords: structural state, modular structures, compositional material, crystal object, nano-dimensional object, site- and size-distributions, fractal structure

В работах [1–4] сформулированы принципы модулярного строения кристаллических фаз, наноструктур и фрактальных структур. На их базе разработаны методы комбинаторного и итерационного моделирования вероятных структур неорганических веществ, наноразмерных фаз и регулярных фракталов [5–12]. Для получения модулярных структур предложены варианты разбиения и структурирования пространства [13], способы формирования модулярных ячеек [14] и структурных модулей [15]. Предложены варианты описания фазово-разупорядоченного состояния поверхности многофазных антифрикционных материалов как совокупности фазовой и структурно-фазовой разупорядоченностей, а также структурной разупорядоченности в отдельных кристаллических фазах [1, 16–27] или как комплексного структурного состояния поверхности композита, включающего в себя кроме кристаллической **r** компоненты также наноразмерную **n** и фрактальную **f** компоненты [28–38]. Рассмотрим варианты описания возможных модулярных

структурных состояний кристаллических и наноразмерных объектов и характера их сайт- и сайз-распределений в объеме композиционного материала при трении.

Состояния модулярных структур в объеме антифрикционных покрытий

Для описания конкретного структурного состояния объема можно использовать 3D состояния: rrr – для кристаллических фаз, nnn – для наноразмерных структур и fff – для законов распределения их межфазных границ. Формальное описание конкретного структурного состояния объема материала будет выглядеть следующим образом: (rrr, nnn, fff). Возможные варианты их реализации для кристаллов, наноструктур и конфигураций межфазных границ определяются аналогично вариантам реализации на поверхности. Всего с учетом случайного варианта распределения фаз в одном, двух или трех независимых направлениях можно представить $20 \times 20 \times 10 = 4000$ комбинаторно различных вариантов описаний структурных состояний в объеме композиционного материала.

Перечислим возможные варианты реализации модулярных структур, охарактеризуем виды состояний модулярных структур, сопряженные (*) и соподчиненные им (∈) состояния.

Класс кристаллический (r r r), модулярные структуры $R_{\text{кр}}^3$:

1) (r r r) – 3D-кристалл из упорядоченных атомных цепочек, слоев, (rrr)* = (rrr), (r r r) ∈ (n n n),

2) (r r r_n) – 3D-кристалл из упорядоченных 1D-наночастиц, (rr r_n)* = (rr n_r), (rr r_n) ∈ (n n n),

3) (r r r_p) – 3D-кристалл из упорядоченных 1D локальных фракталов, (r r r_p)* = (r r f_r), (r r r_p) ∈ (n n n),

4) (r r r_n) – 3D-кристалл из упорядоченных 2D наночастиц, (r r r_n)* = (r n r_n), (r r r_n) ∈ (n n n),

5) (r r r_p) – 3D-кристалл из упорядоченных 1D-наночастиц и 1D локальных фракталов, (r r r_p)* = (r n f_r), (r r r_p) ∈ (n n n),

6) (r r r_f) – 3D-кристалл из упорядоченных локальных 2D фракталов (детерминистических фрактальных 2D структур), (r r r_f)* = (f f f), (r r r_f) ∈ (n n n).

7) (r_n r_n r_n) – 3D-кристалл из упорядоченных наночастиц, (r_n r_n r_n)* = (n n n), (r_n r_n r_n) ∈ (n n n),

8) (r_n r_n r_f) – 3D-кристалл из упорядоченных 2D-наночастиц и 1D локальных фракталов, (r_n r_n r_f)* = (n n f_r), (r_n r_n r_f) ∈ (n n n),

9) (r_n r_f r_f) – 3D-кристалл из упорядоченных локальных наночастиц и 2D фракталов (детерминистических фрактальных 2D структур), (r_n r_f r_f)* = (n f f_r), (r_n r_f r_f) ∈ (n n n).

10) (r_f r_f r_f) – 3D-кристалл из упорядоченных локальных 3D фракталов (детерминистическая фрактальная 3D структура), (r_f r_f r_f)* = (f f f_r), (r_f r_f r_f) ∈ (n n n).

11) (r_o r_o r_o) – 3D-кристалл из разупорядоченных атомных слоев, (r_o r_o r_o)* = (r_o r_o r_o), (r_o r_o r_o) ∈ (n_o n_o n_o),

12) (r_o r_n r_n) – 3D-кристалл из разупорядоченных слоев 1D-наночастиц, (r_o r_n r_n)* = (r_o r_n r_n), (r_o r_n r_n) ∈ (n_o n_n n),

13) (r_o r_f r_f) – 3D-кристалл из разупорядоченных слоев 1D локальных фракталов, (r_o r_f r_f)* = (r_o r_f r_f), (r_o r_f r_f) ∈ (n_o n_f n_f),

14) (r_o r_n r_f) – 3D-кристалл из разупорядоченных слоев 2D наночастиц, (r_o r_n r_f)* = (r_o n_r f_r), (r_o r_n r_f) ∈ (n_o n n),

15) (r_o r_n r_n) – 3D-кристалл из разупорядоченных слоев 1D-наночастиц и 1D локальных фракталов, (r_o r_n r_n)* = (r_o n_r f_r), (r_o r_n r_n) ∈ (n_o n n),

16) (r_o r_f r_f) – 3D-кристалл из разупорядоченных слоев локальных 2D фракталов (детерминистических фрактальных 2D структур), (r_o r_f r_f)* = (r_o f_r f_r), (r_o r_f r_f) ∈ ((n_o n_f n_f)).

17) (r_o r_o r) – 3D-кристалл из разупорядоченных цепочек атомов, (r_o r_o r)* = (r_o r_o r), (r_o r_o r) ∈ (n_o n_o n),

18) (r_o r_o r_f) – 3D-кристалл из разупорядоченных цепочек 1D локальных фракталов, (r_o r_o r_f)* = (r_o r_o f_r), (r_o r_o r_f) ∈ (n_o n_o n_f),

19) (r_o r_o r_n) – 3D-кристалл из разупорядоченных цепочек наноразмерных частиц, (r_o r_o r_n)* = (r_o r_o n_r), (r_o r_o r_n) ∈ (n_o n_o n),

20) (r_o r_o r_o) – аперриодический (аморфный) 3D-кристалл, (r_o r_o r_o)* = (r_o r_o r_o), (r_o r_o r_o) ∈ (n_o n_o n_o).

Класс наноразмерный (n n n), модулярные структуры $R_{\text{ннн}}^3$:

1) (n n n) – 3D-наночастица, (n n n)* = (n n n),

2) (n n n_n) – 3D-нанообъект из упорядоченных 1D-фрагмента структуры, (n n n_n)* = (n n n_n),

3) (n n n_p) – 3D-нанообъект из упорядоченных 1D локальных фракталов, (n n n_p)* = (n n f_n),

4) (n n n_f) – 3D-нанообъект из упорядоченных 2D наночастиц структуры, (n n n_f)* = (n n f_n),

5) (n n n_n) – 3D-нанообъект из упорядоченных 1D-фрагментов структуры и 1D локальных фракталов, (n n n_n)* = (n n f_n),

6) (n n_f n_f) – 3D-нанообъект из упорядоченных 2D локальных фракталов, (n n_f n_f)* = (n f_n f_n),

7) (n_r n_r n_r) – 3D-нанообъект из упорядоченных 3D-наночастиц структуры, (n_r n_r n_r)* = (r_n r_n r_n),

8) (n_r n_f n_f) – 3D-нанообъект из упорядоченных 2D-наночастиц структур и 1D локальных фракталов, (n_r n_f n_f)* = (r_n f_n f_n),

9) (n_f n_f n_f) – 3D-нанообъект из упорядоченных 1D-наночастиц структур и 2D локальных фракталов, (n_f n_f n_f)* = (f_n f_n f_n),

10) (n_f n_f n_n) – 3D локальный фрактал, (n_f n_f n_n)* = (f_n f_n f_n),

11) (n_o n n) – 3D-наночастица из разупорядоченных слоев 2D-наночастиц, (n_o n n)* = (n_o n n),

12) (n_o n n_n) – 3D-нанообъект из разупорядоченных слоев 1D-фрагмента структуры и 1D-наночастиц, (n_o n n_n)* = (n_o n n_n),

13) (n_o n n_f) – 3D-нанообъект из разупорядоченных слоев 1D локального фрактала и 1D-наночастиц, (n_o n n_f)* = (n_o n f_n),

14) (n_o n_r n_f) – 3D-нанообъект из разупорядоченных слоев 2D наночастиц структуры, (n_o n_r n_f)* = (n_o r_n f_n),

15) (n_o n_r n_n) – 3D-нанообъект из разупорядоченных слоев 1D-фрагмента структуры и 1D локального фрактала, (n_o n_r n_n)* = (n_o r_n f_n),

16) (n_o n_f n_f) – 3D-нанообъект из разупорядоченных слоев 2D локальных фракталов, (n_o n_f n_f)* = (n_o f_n f_n).

17) $(n_o n_o n_r)$ – 3D-нанообъект из разупорядоченных цепочек 1D-нанофрагментов структуры, $(n_o n_o n_r)^* = (n_o n_r n_o)$,

18) $(n_o n_o n_r)$ – 3D-нанообъект из разупорядоченных цепочек 1D локальных фракталов, $(n_o n_o n_r)^* = (r_o r_o f_n)$,

19) $(n_o n_o n)$ – 3D-нанообъект из разупорядоченных цепочек 1D-наночастиц, $(n_o n n)^* = (n_o n_o n)$,

20) $(n_o n_o n_o)$ – аperiodическая (аморфная) 3D-наночастица, $(n_o n_o n_o)^* = (n_o n_r n_o)$.

Класс фрактальный гибридный $(f f f)$, модулярные структуры R_{mf}^3 :

1) $(f f f)$ – 3D фрактальная гибридная структура, $(f f f)^* = (f f f)$, $(f f f) \in (n_r n_r n_r)$,

2) $(f f f_r)$ – 3D фрактал из цепочек 1D детерминистических фракталов, $(f f f_r)^* = (f f r_f)$, $(f f f_r) \in (n_f n_f n_r)$,

3) $(f f f_n)$ – 3D фрактал из цепочек 1D фрактальных нанообъектов, $(f f f_n)^* = (f f n_f)$, $(f f f_n) \in (n_n n_n n)$,

4) $(f f_r f_r)$ – 3D фрактал из слоев 2D детерминистических фракталов, $(f f_r f_r)^* = (f r_f r_f)$, $(f f_r f_r) \in (n_f n_f n_r)$,

5) $(f f_r f_n)$ – 3D фрактал из цепочек 1D детерминистических фракталов и 1D фрактальных нанообъектов, $(f f_r f_n)^* = (f r_f n_f)$, $(f f_r f_n) \in (n_f n_r n)$,

6) $(f f_n f_n)$ – 3D фрактал из слоев 2D фрактальных нанообъектов, $(f f_n f_n)^* = (f n_f n_f)$, $(f f_n f_n) \in (n_n n n)$,

7) $(f_r f_r f_r)$ – 3D детерминистический фрактал, $(f_r f_r f_r)^* = (r_f r_f r_f)$, $(f_r f_r f_r) \in (n_r n_r n_r)$,

8) $(f_r f_r f_n)$ – 3D фрактал из слоев 2D детерминистических фракталов и 1D фрактальных нанообъектов, $(f_r f_r f_n)^* = (r_f r_f n_f)$, $(f_r f_r f_n) \in (n_r n_r n)$,

9) $(f_r f_n f_n)$ – 3D фрактал из 1D детерминистических фракталов и слоев 2D фрактальных нанообъектов, $(f_r f_n f_n)^* = (r_f n_f n_f)$, $(f_r f_n f_n) \in (n_r n n)$,

10) $(f_n f_n f_n)$ – 3D фрактальный нанообъект, $(f_n f_n f_n)^* = (n_f n_f n_f)$, $(f_n f_n f_n) \in (n n n)$.

Индексы r , n , f и o характеризуют кристаллический (периодический), наноразмерный, фрактальный и случайный (хаотический) законы распределения, соответственно. Для квазифрактальных конфигураций межфазных границ вариант случайной их реализации не учитывается, т.к. их аппроксимантами являются детерминистические фрактальные R_{mf}^3 -структуры, существующие в детерминированном предварительно структурированном 3D пространстве.

Отметим, что в 3D пространстве множество вероятных структурных состояний детерминистических модулярных структур композитов состоит из трех основных автосопреженных 1D состояний (кристалл с атомной структурой $r_r \equiv r$, нанообъект

$n_n \equiv n$, локальный фрактал $f_f \equiv f$) и трех пар сопряженных между собой состояний (кристалл из нанообъектов r_n и нанообъект с кристаллической структурой n_r , кристалл из локальных фракталов r_f и фрактал с кристаллической структурой f_r , нанообъект с фрактальной структурой n_f и фрактал из нанообъектов f_n). Таким образом, состояния кристаллического класса имеют в качестве сопряженных состояний 1D и 2D нанофрагменты и детерминистические фракталы, состояния наноразмерного класса – 1D и 2D состояния из наноразмерных частиц и локальных фракталов, а состояния фрактального гибридного класса – 1D и 2D состояния из локальных фракталов и нанофракталов.

Представления о возможном влиянии комплексного состояния композитов, обусловленного как распределенными определенным образом кристаллическими фазами, так и наночастицами некоторых из этих фаз, были использованы при целенаправленном поиске и интерпретации трибологических свойств поверхности композиционных материалов и покрытий [17–38]. Проанализированы размерные характеристики возможных состояний многокомпонентных структур, включающих фрактальную и наноразмерную компоненты, и их влияние на свойства системы [39, 40]. Значения размерностей каждой фрактальной структуры могут быть использованы при определении квазиупорядоченных сайт-распределений определенных фаз по поверхности композиционных покрытий, сайз-распределений поверхностных фаз и характеристик конфигураций межфазных границ и расчета трибологических свойств поверхности покрытий в соответствии с синергической моделью [17, 27, 41–59].

Выводы

Предложены варианты описания возможных структурных состояний кристаллических и наноразмерных объектов и характера их в объеме композиционного материала при трении и износе. Рассмотрены основные компоненты описания **(rrr, nnn, fff)** состояний объектов и вероятные характеры их упорядоченности. Проанализированы вероятные типы упорядоченности и разупорядоченности кристаллических, наноразмерных объектов и фрактальных структур. Предполагается, что фрактальные структуры можно рассматривать как возможные аппроксиманты конфигураций межфазных границ, сайт и сайз-распределений объектов в объеме антифрикционных композиционных материалов. В связи с этим структурные состояния должны включать кристаллические,

наноразмерные объекты и фрактальные законы их распределения. Многообразие различных вариантов структурных состояний определяется комбинаторным методом.

Список литературы

1. Иванов В.В. Комбинаторное моделирование вероятных структур неорганических веществ. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – 204 с.
2. Иванов В.В., Таланов В.М. // Физика и химия стекла, 2008. – Т. 34, № 4. – С. 528–567.
3. Иванов В.В., Таланов В.М. // Кристаллография, 2010. – Т. 55. – № 3. – С. 385–398.
4. Иванов В.В., Таланов В.М. // Журн. неорганической химии, 2010. – Т. 55. – № 6. – С. 980–990.
5. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи соврем. естествознания, 2012. – № 3. – С. 56–57.
6. Иванов В.В., Таланов В.М. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2010. – Т. 1. № 1. – С. 72–107.
7. Иванов В.В., Таланов В.М., Гусаров В.В. // Наносистемы: Физика, Химия, Математика, 2011. – Т. 2. № 3. – С. 121–134.
8. Иванов В.В., Шабельская Н.П., Таланов В.М., Попов В.П. // Успехи соврем. естествознания, 2012. – № 2. – С. 60–63.
9. Иванов В.В., Демьян В.В., Таланов В.М. // Успехи соврем. естествознания, 2012. – № 4. – С. 230–232.
10. Иванов В.В., Таланов В.М. // Журн. структурн. химии, 2013. – Т. 54. № 2. – С. 354–376.
11. Иванов В.В., Таланов В.М. // Кристаллография, 2013. – Т. 58. № 3. – С. 370–379.
12. Иванов В.В. // Соврем. наукоемкие технологии. – 2013. – № 5. – С. 29–31.
13. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи соврем. естествознания, 2012. – № 8. – С. 75–77.
14. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи соврем. естествознания, 2012. – № 10. – С. 78–80.
15. Иванов В.В., Таланов В.М. // Успехи соврем. естествознания, 2012. – № 9. – С. 74–77.
16. Иванов В.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – Спецвыпуск. Проблемы трибоэлектрохимии. – 2005. – С. 128–130.
17. Иванов В.В., Щербаков И.Н. Моделирование композиционных никель-фосфорных покрытий с антифрикционными свойствами. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион», 2008. – 112 с.
18. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – № 8–1. – С. 67–70.
19. Иванов В.В., Марченко С.И. // Научная мысль Кавказа. – Спецвыпуск, 2006. – С. 87–89.
20. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Иванов А.В., Марченко С.И. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2008. – № 5. – С. 67–69.
21. Кукоз Ф.И., Иванов В.В., Балакай В.И., Христофори М.П. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2008. – № 4. – С. 123–128.
22. Иванов В.В., Арзуманова А.В., Балакай И.В., Балакай В.И. // Журн. прикладной химии, 2009. – Т. 82. – Вып. 5. – С. 797–802.
23. Иванов В.В., Щербаков И.Н. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 3. С. 73–77.
24. Иванов В.В., Щербаков И.Н., Иванов А.В. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2010. – № 1. – С. 84–87.
25. Иванов В.В., Попов С.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2014. – № 1(20). – Часть 1. – С. 8–10.
26. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 5. – С. 146–149.
27. Щербаков И.Н., Иванов В.В., Логинов В.Т. и др. Химическое наноконструирование композиционных материалов и покрытий с антифрикционными свойствами. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки», 2011. – 132 с.
28. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – № 7–1. – С. 26–28.
29. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 4. – С. 105–108.
30. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 7. – С. 126–128.
31. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 9. – С. 92–97.
32. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 12. – С. 79–84.
33. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 12. – С. 90–93.
34. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 12. – С. 84–90.
35. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 12(2). – С. 90–93.
36. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 12(2). – С. 94–97.
37. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В., Шишка В.Г. // Успехи соврем. естествознания, 2015. – № 1. – С. 13–15.
38. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В., Шишка В.Г. // Успехи соврем. естествознания, 2015. – № 1. – С. 16–18.
39. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 7. – С. 100–104.
40. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 7. – С. 96–99.
41. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 7. – С. 121–123.
42. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 7. – С. 124–125.
43. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Соврем. наукоемкие технологии. – 2013. – № 10. – С. 158–160.
44. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Соврем. наукоемкие технологии. – 2013. – № 10. – С. 161–163.
45. Дерлугян П.Д., Иванов В.В., Иванова И.В. и др. // Соврем. наукоемкие технологии. – 2013. – № 9. – С. 86–88.
46. Иванов В.В. // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2013. – № 10(3). – С. 493.
47. Иванов В.В. // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2013. – № 10(3). – С. 493–494.
48. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – № 7–1. – С. 35–37.
49. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – № 7–1. – С. 28–30.
50. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – № 7–1. – С. 31–33.
51. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – № 7–1. – С. 30–31.
52. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – № 7–1. – С. 33–35.
53. Иванов В.В. // Междунар. науч.-иссл. журнал = Research Journal of International Studies, 2013. – № 8–1. – С. 25–27.
54. Иванов В.В. // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2013. – № 10(3). – С. 493.
55. Ivanov V.V. // International journal of experimental education, 2014. – № 4. – Part 2. – P. 58–59.
56. Ivanov V.V. // International journal of experimental education, 2014. – № 4. – Part 2. – P. 59–60.
57. Иванов В.В. // Успехи соврем. естествознания, 2014. – № 4. – P. 105–108.
58. Scherbakov I.N., Ivanov V.V. // European Journal of Natural History, 2015. – № 3. – P. 48.
59. Ivanov V.V. // European Journal of Natural History, 2015. – № 3. – P. 36–37.