

**СВОЙСТВА СТРУКТУР НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДА,  
СИНТЕЗИРОВАННЫХ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ  
В ГЕЛИИ ПРИ ДАВЛЕНИИ 1,1 КБАР  
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОБЛУЧЕНИЯ ТОРМОЗНЫМИ  
 $\gamma$ -КВАНТАМИ С ПОРОГОВОЙ ЭНЕРГИЕЙ 10 МэВ**

**А. Ю. Дидык<sup>а</sup>, Р. Вишневский<sup>б,1</sup>**

<sup>а</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

<sup>б</sup> Варшавский политехнический университет, Варшава

Газообразный гелий при начальном давлении около 1,1 кбар, находившийся в камере высокого давления гелия (HeHPC), был облучен тормозными  $\gamma$ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ в течение  $1,00 \cdot 10^5$  с при токе электронного пучка 21–24 мкА. При вскрытии HeHPC остаточное давление гелия оказалось равным 426 бар. Внутри HeHPC были обнаружены синтезированные фольги черного цвета и другие множественные объекты, находившиеся на внутренних поверхностях реакционной камеры, состоящей из меди высокой чистоты (99,99%), входного окна  $\gamma$ -квантов из бериллиевой бронзы и медного сборника продуктов ядерных и химических реакций. Исследования с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и рентгеновского микроэлементного зондового анализа (РМЗА) позволили установить, что фольги состоят преимущественно из углерода и в меньших количествах из других элементов от углерода до железа. Полученные результаты хорошо согласуются с циклом исследований авторов при воздействии  $\gamma$ -квантов на плотные газы водорода и дейтерия в присутствии металлов или при их отсутствии в реакционной камере.

A helium high pressure chamber (HeHPC) filled with helium gas at 1.1 kbar initial pressure was irradiated by braking  $\gamma$ -quanta with 10 MeV threshold energy during  $1.00 \cdot 10^5$  s at the electron beam current 21–24  $\mu$ A. The helium gas pressure before opening of the HeHPC was found to be 426 bar. The synthesized black color foils and other objects were observed inside the HeHPC, on the inner surfaces of the reactive chamber made of high purity copper (99.99%), the input beryllium bronze window, and copper collector of chemical and nuclear reaction products. An elemental analysis using scanning electronic microscopy (SEM) and microprobe X-ray analysis (MPXA) allowed to establish that the observed foils consist predominantly of carbon with smaller quantities of other elements from carbon to iron. The obtained results agree well with the cycle of studies by authors of  $\gamma$ -quanta influence on dense hydrogen and deuterium gases with or without metals in the reactive chamber.

PACS: 25.20.Dc; 28.52.Cx

---

<sup>1</sup>E-mail: roland.wisniewski@gmail.com

## ВВЕДЕНИЕ

Исследования элементного состава синтезированных частиц и объектов, а также структуры поверхностей элементов камеры высокого давления дейтерия (ДНРС) были выполнены на образцах ряда металлов и сплавов Al, V, Cu, Pd, Sn, Re, YМn<sub>2</sub> и нержавеющей стали в виде стержней и проволок, находившихся в атмосфере газообразного молекулярного дейтерия при высоком давлении под действием тормозных  $\gamma$ -квантов с энергиями 10 МэВ [1–8] и 23 МэВ [8, 9, 11–14]. Аналогичные исследования для изучения возможностей протекания ядерных реакций были проведены в камерах высокого давления водорода (ННРС) с наличием внутри Pd-стержней [15, 18, 19] и с одним водородом без металлических образцов внутри [16, 17] при облучении 10-МэВ тормозными  $\gamma$ -квантами. Обсуждения возможных феноменологических модельных подходов представлены в работах [7, 10, 15, 16, 19, 20].

Цель настоящей работы — исследование процессов по образованию новых элементов и синтезированных из них структур, которые отсутствовали в материале камеры высокого давления гелия (HeНРС).

### 1. ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ ОБЛУЧЕНИЯ $\gamma$ -КВАНТАМИ И ПАРАМЕТРОВ HeНРС

На рис. 1 представлена схема *модифицированной камеры высокого давления*, заполненной гелием (или сокращенно HeНРС) на момент облучения  $\gamma$ -квантами при давлении 1092 бар. Гелий особой спектральной чистоты находился внутри камеры (99,999 ат. %). При этом наполнение внутренней HeНРС гелием осуществлялось трехкратным повторением операции: заполнение камеры объемом менее 1 см<sup>3</sup> гелием до давления 150 бар, сброс давления до атмосферного и опять заполнение гелием до 150 бар. При этом степень очистки от газа из атмосферы составляла  $(1/150)^3 \simeq 3 \cdot 10^{-7}$ .

Модификация HeНРС заключалась в двух важных изменениях: 1) уплотнение из витона в месте соединения входного окна  $\gamma$ -квантов (рис. 1, поз. 4) и камеры высокого давления из CuBe<sub>2</sub> (рис. 1, поз. 6) было заменено на уплотнение металл по металлу; 2) реакционная камера (рис. 1, поз. 8) и сборник продуктов реакций (рис. 1, поз. 9) были изготовлены из меди высокой чистоты (99,99 %). Это позволило ограничить присутствие химических элементов вблизи и внутри реакционной камеры только медью и бериллием во входном окне (бериллия до 2–4 %).

Исходное давление в HeНРС перед облучением с использованием внутреннего тензора-датчика (см. рис. 1, поз. 10) и измерительного модуля (Model P3 Strain indicator and recorder) оказалось равным 1092 бар, хотя исходное давление гелия при загрузке составляло  $\sim 2$  кбар и держалось около одного месяца без изменений. При давлении гелия около 1,1 кбар его атомную плотность можно оценить как  $1,5 \cdot 10^{22}$  атомов/см<sup>3</sup> [10].

Облучение HeНРС было проведено в течение 27 ч 51 мин, или  $1,00 \cdot 10^5$  с, на ускорителе электронов МТ-25 Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова. Энергия электронного пучка составляла 10 МэВ при токе пучка электронов от 21 до 24 мкА. Тормозные  $\gamma$ -кванты непрерывного спектра с граничной энергией примерно 10 МэВ были получены с использованием тормозной мишени в виде вольфрамовой пластинки толщиной 2,5 мм и алюминиевого поглотителя электронного пучка толщиной 25 мм.

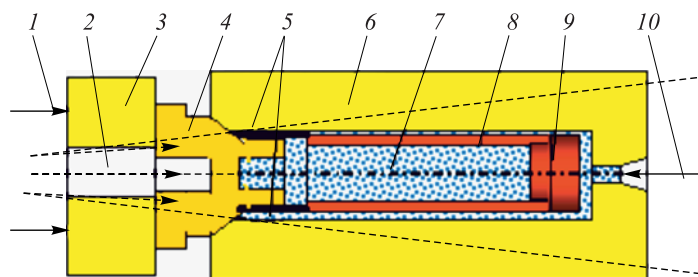


Рис. 1. Элементы камеры высокого давления гелия (HeHPC), использованные при облучении  $\gamma$ -квантами: 1 — винтовое прижимное уплотнение (конус  $60^\circ/58^\circ$ ), которое не показано на этом рисунке; 2 — поток  $\gamma$ -квантов с проходным сечением в 6 мм; 3 — входное окно из  $\text{Cu}_{1-x}\text{Vex}$ , в которое вставляется прижимной винт; 4 — входное окно  $\gamma$ -квантов; 5 — место присоединения входного окна к реакционной камере с углеродными фольгами (область, в которой были обнаружены углеродные фольги); 6 — камера высокого давления из  $\text{Cu}_{0,98-0,96}\text{Veo}_{0,02-0,04}$  с внешним защитным стальным цилиндром (не показан на рисунке); 7 — гелий (исходное давление 2 кбар, конечное 1 кбар); 8 — медная реакционная камера из чистой (99,99%) меди; 9 — медный сборник продуктов реакции, закрывающий реакционную камеру; 10 — устройство для загрузки-разгрузки газа и измерения его давления при контроле и в процессе облучения

При облучении температура внутри внешнего защитного стального цилиндра (оболочки) HeHPC (рис. 1, поз. 6) составляла около  $60^\circ\text{C}$ .

Давление внутри камеры в начале облучения выросло от 1092 до 1242 бар, т. е. на 150 бар. При вскрытии камеры, а это наиболее объективное и точное измерение, давление в ней оказалось равным 426 бар. Следовательно, давление упало на 666 бар.

После вскрытия HeHPC в области внутренней ее части (рис. 1, поз. 5) были обнаружены маслянистые (см. пояснения ниже) черные фольги. Эти черные фольги значительных размеров (см. рис. 2–3 ниже) ориентировочно состоят преимущественно из углерода. Когда фольги были выложены на специальную чистую рулонного типа бумагу (кальку), в месте их расположения остались маслянистые следы. Этот факт свидетельствует о том, что черные углеродные фольги, *возможно, содержат жидкие масла в виде углеводородов.*

## 2. ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТОРМОЗНЫХ $\gamma$ -КВАНТОВ ЧЕРНЫХ МАСЛЯНИСТЫХ ФОЛЬГ

При вскрытии HeHPC в месте присоединения входного окна к реакционной камере (рис. 1, поз. 5) обнаружены фольги черного цвета с армирующими вставками внутри, часть которых торчала из фольг в виде протяженных светлых стержней постоянной толщины. Фольги были помещены на чистую бумагу (кальку). В месте нахождения черных фольг калька пропиталась жидкими выделениями из фольг. По внешнему виду эти жидкие выделения на кальке напоминали синтетическое масло из жидких углеводородов. На рис. 2 представлены фотографии множества таких черных фольг, которые приобрели данный вид (см. рис. 2, б) из-за цилиндрической формы реакционной камеры (рис. 1, поз. 5).

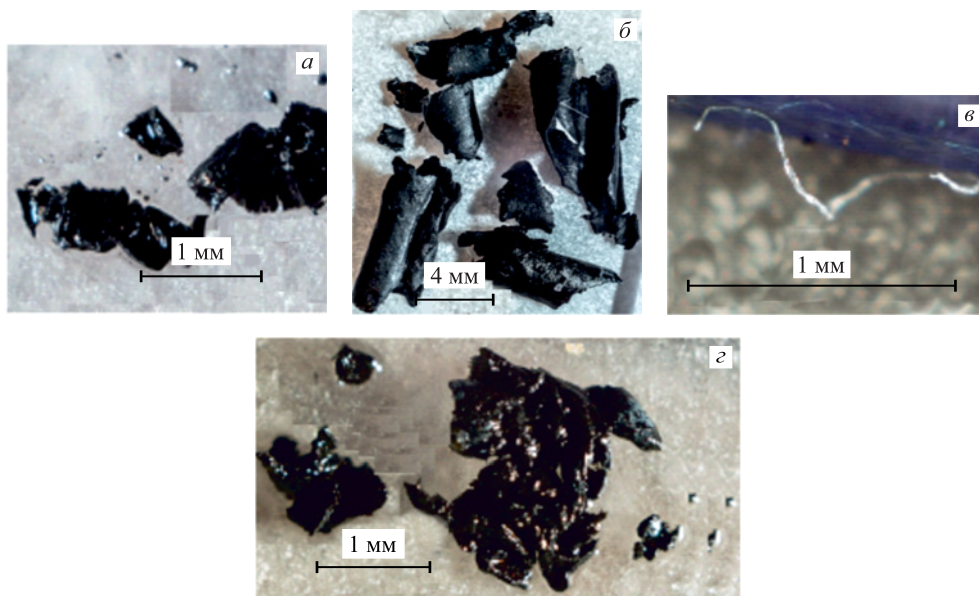


Рис. 2. Фотографии трех групп черных фольг (а, б, з) и протяженной светлой «нитки» (е), обнаруженных в месте присоединения входного окна к реакционной камере (рис. 1, поз. 5)

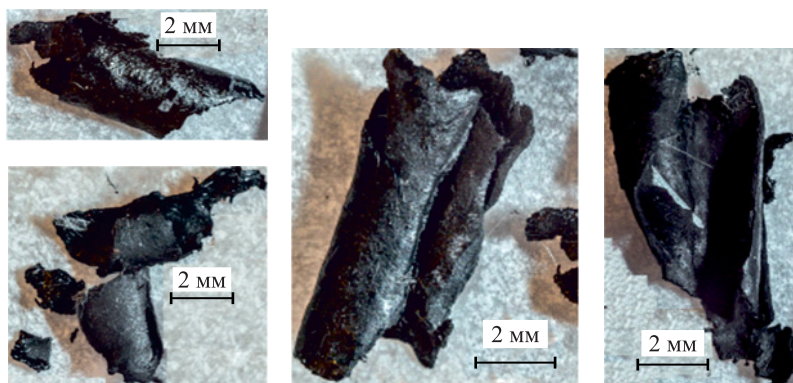


Рис. 3. Фотографии тонких цилиндрической формы фольг черного цвета, которые представлены в комплексе на рис. 2, б, в увеличенном масштабе

На рис. 3 приведены увеличенные изображения скрученных фольг, представленных на рис. 2, б.

Исследования элементного состава обнаруженных черных фольг методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и рентгеновского микроэлементного зондового анализа (РМЗА) будут представлены в следующем разделе.

### 3. СЭМ- И РМЗА-ИССЛЕДОВАНИЯ (В НИИЯФ МГУ) ТОНКИХ ЧЕРНЫХ ФОЛЬГ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОБЛУЧЕНИЯ HeHPC $\gamma$ -КВАНТАМИ

Изучение структуры и элементного состава всех компонентов HeHPC, которые имели контакт с плотным гелием, а именно: разрезанных вдоль осей цилиндрической симметрии двух внутренних и внешних поверхностей входного окна из бериллиевой бронзы, двух внутренних поверхностей медной втулки, в которой преимущественно проходили ядерные и химические реакции, медного сборника продуктов реакций — были проведены в двух независимых аналитических центрах (АЦ): в НИИЯФ им. Д. В. Скобельцына МГУ им. М. В. Ломоносова (АЦ-I) и ФГУП НИИ ПМТ (АЦ-II). Как было отмечено в предыдущем разделе, при вскрытии HeHPC в месте присоединения входного окна к реакционной камере (см. рис. 1, поз. 5) были обнаружены маслянистые фольги черного цвета с армирующими одинаковой толщины стержнями малого диаметра, расположенными вдоль поверхностей черных фольг и вне их.

На рис. 4 представлены СЭМ-изображения одной из таких черных фольг длиной в несколько миллиметров во вторичных электронах (а) и в отраженных электронах (б).

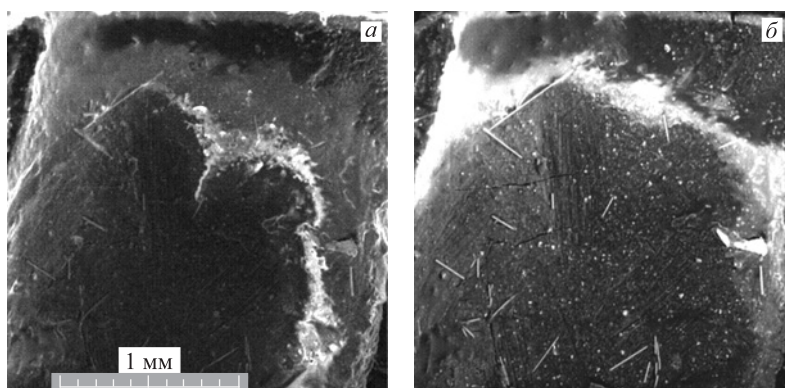


Рис. 4. СЭМ-изображения черной непрозрачной пленки во вторичных электронах (а) и в отраженных электронах (б)

В отраженных электронах более светлые изображения соответствуют более тяжелым химическим элементам (с большим порядковым номером элемента). На рис. 4, б отчетливо видно, что пленка как бы армирована протяженными светлыми стержнями различной длины и вкраплениями светлых частиц относительно малых размеров.

На рис. 5 представлены СЭМ-изображения двух участков другой черной фольги: с большим увеличением (а) и отчетливо видного одного из армирующих длинных стержней (б).

На рис. 6 приведены: СЭМ-изображение участка поверхности одной из черных фольг (см. рис. 2 и 3) со светлыми вкраплениями и стержнями, со всей площади которого был сделан РМЗА (а), и соответствующий характеристический спектр рентгеновского излучения (ХСРИ)<sup>1</sup> (б); в табл. 1 представлен элементный состав.

<sup>1</sup> По осям ординат в ХСРИ представлены интенсивности рентгеновских линий элементов.

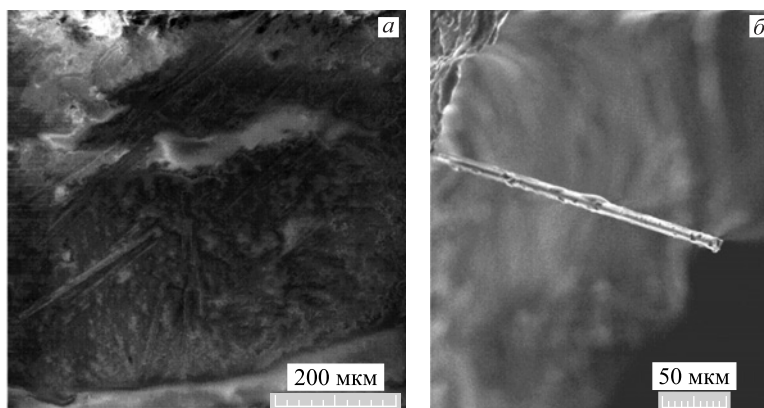


Рис. 5. СЭМ-изображения двух участков черной фольги с отчетливо видимыми протяженными стержнями

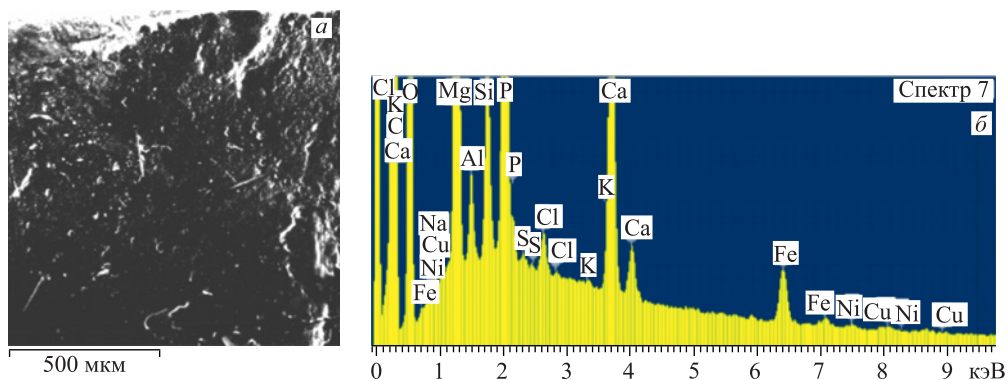


Рис. 6. СЭМ-изображение поверхности участка черной фольги, со всей площади которого был сделан РМЗА (а), и соответствующий ХСРИ (б)

Таблица 1. Элементный состав поверхности черной фольги (см. рис. 6, а, б)

Элемент	Z	Серия	C, вес. %	C, ат. %
Кислород	8	К	56,08	69,07
Натрий	11	К	0,30	0,26
<b>Магний</b>	<b>12</b>	<b>К</b>	<b>20,53</b>	<b>16,64</b>
Алюминий	13	К	1,51	1,11
Кремний	14	К	3,16	2,22
Фосфор	15	К	12,33	7,85
Сера	16	К	0,14	0,08
Хлор	17	К	0,52	0,29
Калий	19	К	0,04	0,02
Кальций	20	К	4,11	2,02
Железо	25	К	1,10	0,39
Никель	28	К	0,09	0,03
Медь	29	К	0,09	0,03

Отметим, что черные фольги состоят преимущественно из углерода, при этом его концентрация более 70 ат. %, а толщина фольг относительно небольшая, поэтому, чтобы оценить концентрации других образовавшихся элементов в ряде измеренных ХСРИ, в методе РМЗА при их обработке углерод не учитывался. Как видно из табл. 1, в фольге после удаления углерода следующими по концентрациям находятся: кислород (69,07 ат. %), магний (16,64 ат. %), алюминий (1,11 ат. %), кремний (2,22 ат. %), фосфор (7,85 ат. %), кальций (2,02 ат. %) и железо (1,10 вес. %), присутствуют также в меньших количествах натрий, сера, хлор, калий, никель и медь.

На рис. 7 представлено СЭМ-изображение участка поверхности одной из черных фольг со светлыми вкраплениями и стержнями, вдоль отмеченной полосы на котором был сделан РМЗА (а), а также относительные концентрации элементов вдоль этой полосы (б). Длина полосы сканирования РМЗА составляет около 350 мкм. Из спектров на рис. 7, б можно сделать вывод, что черная пленка-фольга имеет сильно неоднородный характер. При сканировании встречаются частицы, которые состоят преимущественно из углерода. А мелкие структуры, которые проявляют себя в виде пиков на спектрах (см. рис. 7, а), состоят из углерода (до 500 отн. ед.), кислорода (до 90 отн. ед.), алюми-

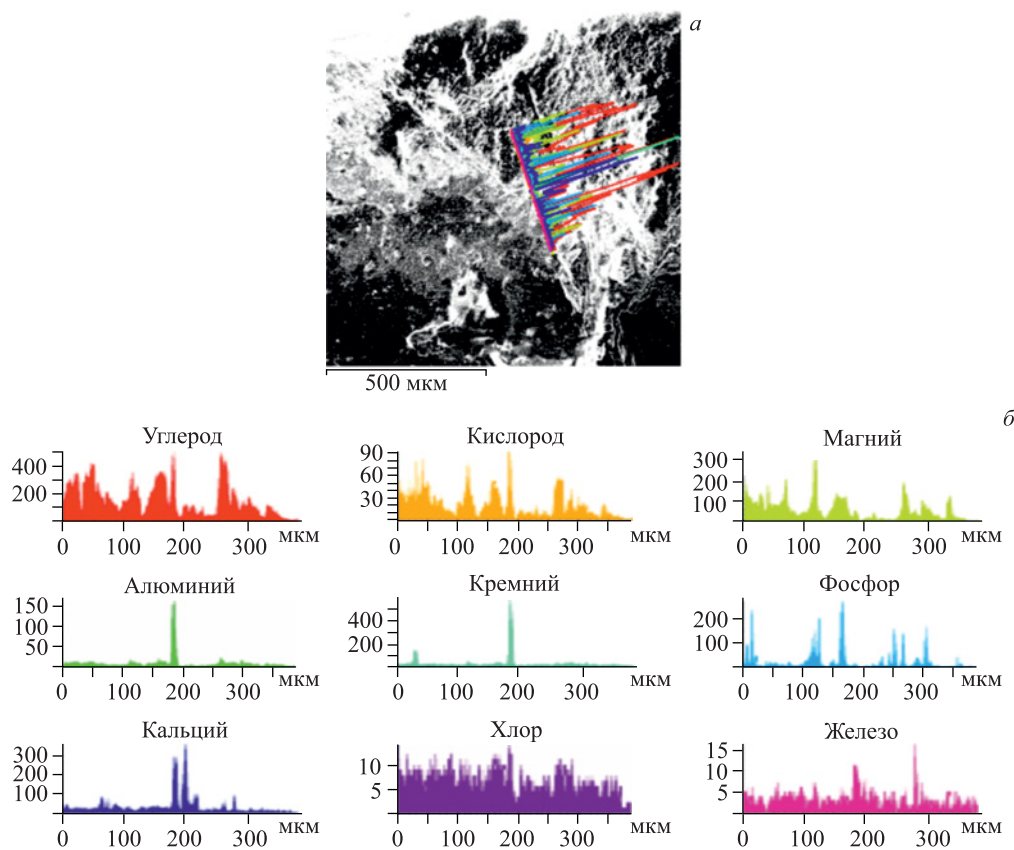


Рис. 7. СЭМ-изображение участка поверхности черной фольги, вдоль отмеченной полосы на котором был сделан РМЗА (а), и концентрации элементов (б)

ния (до 170 отн. ед.), кремния (до 550 отн. ед.), фосфора (до 280 отн. ед.), кальция (до 360 отн. ед.) и хлора (до 13 отн. ед.).

На рис. 8 приведено СЭМ-изображение участка поверхности одной из черных фольг с длинным стержнем, поперек которого по полосе сканирования был сделан РМЗА (а), а также относительные концентрации элементов вдоль этой полосы (б). Из спектров на рис. 8, б можно сделать два вывода:

1) черная пленка-фольга состоит преимущественно из углерода (до 500–600 отн. ед.), кислорода (до 130 отн. ед.), натрия (до 10 отн. ед.), магния (до 80–30 отн. ед.), фосфора (до 5–20 отн. ед.) и меди (до 10–20 отн. ед.);

2) длинные стержни, один из которых был в измеренной полосе исследован (см. рис. 18, а), состоят из кислорода (до 350 отн. ед.), алюминия (до 80 отн. ед.), кремния (до 200 отн. ед.) и кальция (до 30 отн. ед.).

На рис. 9 представлены: СЭМ-изображение (в отраженных электронах) участка поверхности одной из черных фольг со светлыми вкраплениями и стержнями, со всей вы-

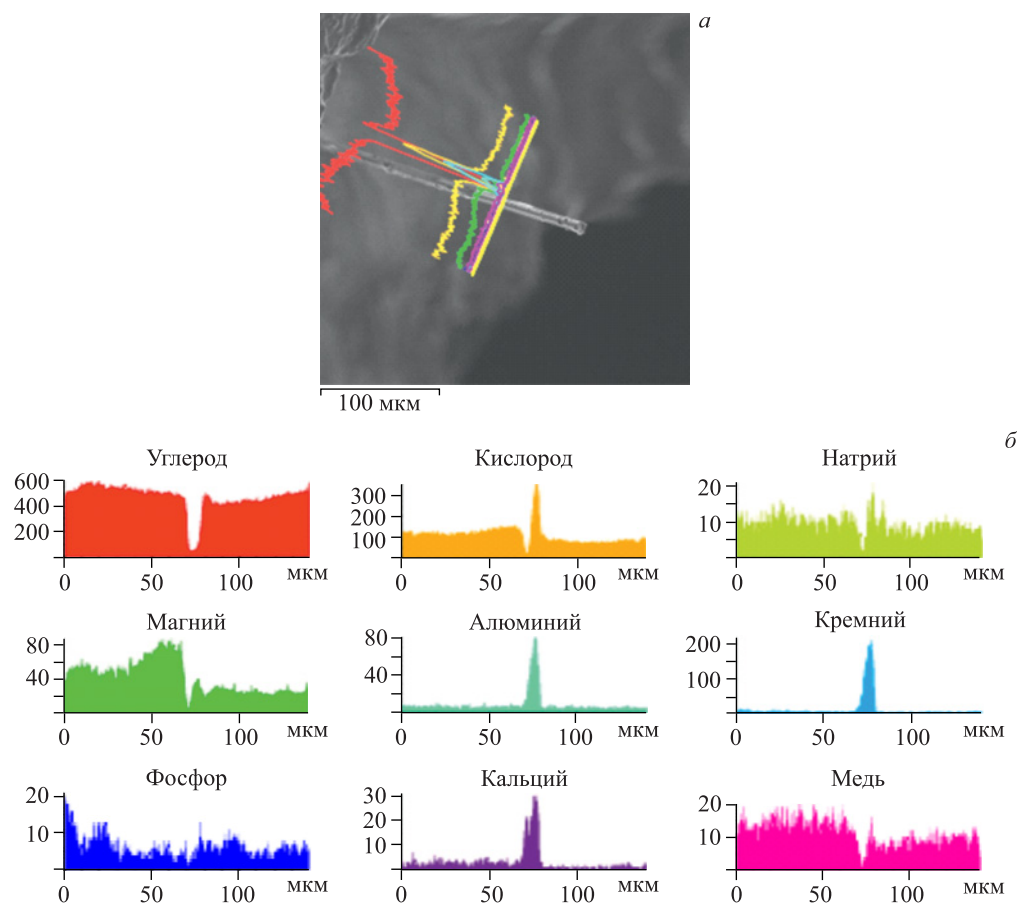


Рис. 8. СЭМ-изображение участка поверхности черной фольги, вдоль отмеченной полосы на котором был сделан РМЗА (а), и концентрации элементов (б)



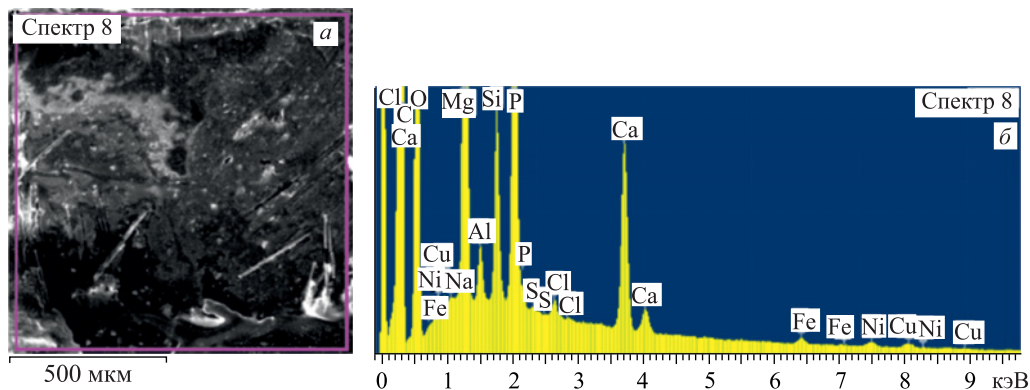


Рис. 9. СЭМ-изображение участка поверхности черной пленки, со всей площади которого был сделан РМЗА (а), и соответствующий ХСРП (б)

Таблица 2. Элементный состав участка поверхности черной фольги (см. рис. 9, а, б)

Элемент	Z	Серия	C, вес. %	C, ат. %
Кислород	8	К	59,25	71,17
Натрий	11	К	0,14	0,12
<b>Магний</b>	<b>12</b>	<b>К</b>	<b>21,90</b>	<b>17,31</b>
Алюминий	13	К	1,47	1,05
Кремний	14	К	4,04	2,76
Фосфор	15	К	9,34	5,80
Сера	16	К	0,08	0,05
Хлор	17	К	0,31	0,17
Кальций	20	К	2,89	1,39
Железо	25	К	0,18	0,06
Никель	28	К	0,18	0,06
Медь	29	К	0,22	0,07

деленной площади которого был сделан РМЗА (а), и ХСРП (б). В табл. 2 приведен соответствующий элементный состав.

Как видно из сравнения рис. 6, а, б и табл. 1, а также рис. 9, а, б и табл. 2, измеренные значения элементного состава двух участков черной фольги без учета углерода, из которого в основном она и состоит, очень близки. Углерод специально исключен из расчета концентраций с тем, чтобы лучше оценить концентрации остальных элементов, которые в малых количествах все же присутствуют в черной фольге.

Для сравнения приведем здесь СЭМ- и РМЗА-исследования черных синтезированных фольг, выполненные для убедительности в другом независимом центре аналитических исследований, а именно в ФГБНУ «НИИ ПМТ».

#### 4. СЭМ- И РМЗА-ИССЛЕДОВАНИЯ (В ФГБНУ «НИИ ПМТ») ТОНКИХ ЧЕРНЫХ ФОЛЫГ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОБЛУЧЕНИЯ HeHPC $\gamma$ -КВАНТАМИ

Для получения большей информации в исследованиях был использован другой набор фольг, которые были также обнаружены при вскрытии HeHPC. На рис. 10 приведены СЭМ-изображения крупной фольги и нескольких ее участков с различным увеличением.

Как и в результатах разд. 3, на участках изучаемой фольги присутствуют линейные протяженные стержни. На рис. 11, *a* и 12, *a* представлены СЭМ-изображения двух участ-

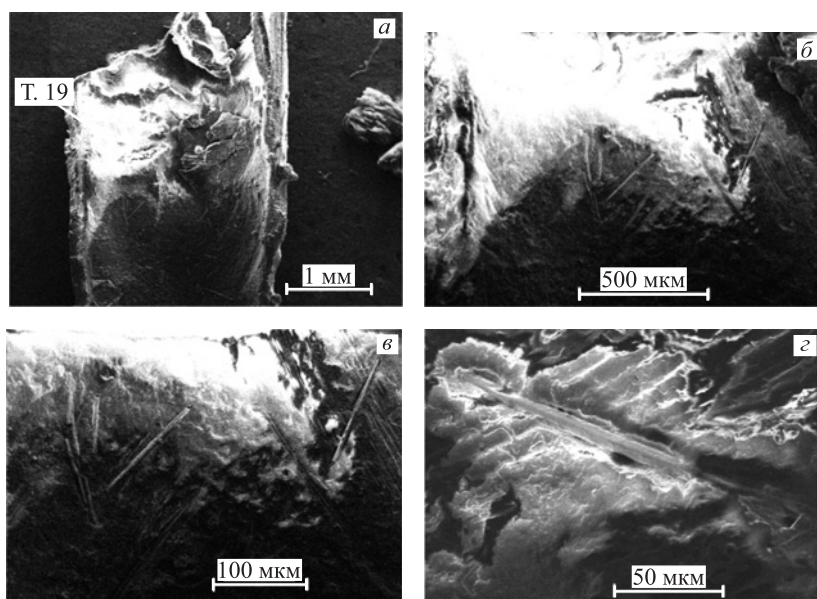


Рис. 10. СЭМ-изображения крупной фольги (*a*) и нескольких ее участков с различным увеличением (*b-d*)

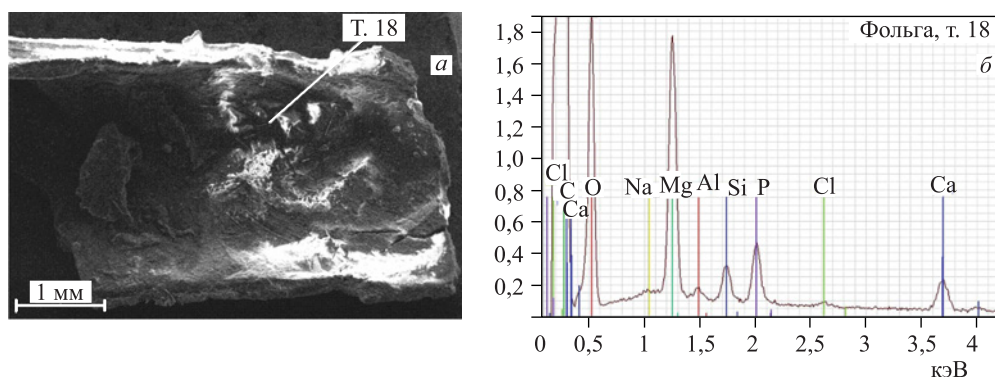


Рис. 11. СЭМ-изображение участка черной фольги (*a*) и ХСРИ в т. 18 (*b*)

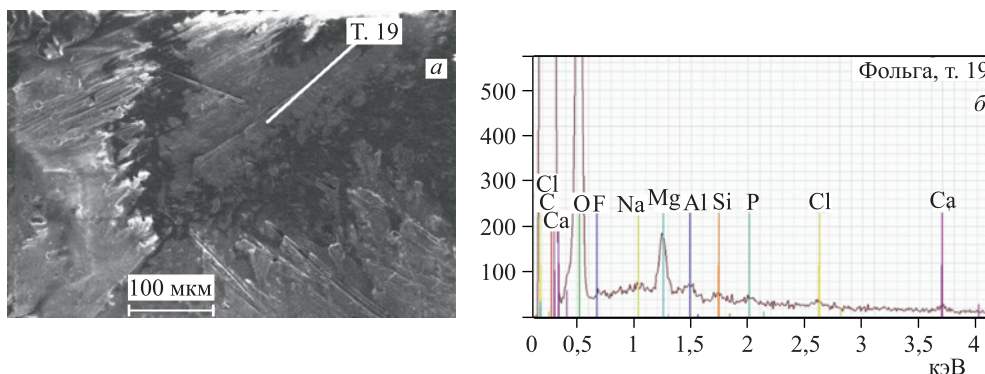


Рис. 12. СЭМ-изображение участка черной фольги (а) и ХСРИ в т. 19 (б)

Таблица 3. Элементный состав фольг на рис. 11, а и 12, а в т. 18 и 19

Элемент	Z	Серия	(C ± ΔC), вес. %		(C ± ΔC), вес. %	
			Т. 18	Т. 19	Т. 18	Т. 19
Углерод	6	К	59,10 ± 6,76	66,38	60,65 ± 7,13	67,04
<b>Азот</b>	<b>7</b>	<b>К</b>	<b>5,91 ± 1,17</b>	<b>5,69</b>	<b>5,51 ± 1,32</b>	<b>5,22</b>
Кислород	8	К	30,14 ± 3,84	25,42	32,59 ± 4,41	27,05
<b>Фтор</b>	<b>9</b>	<b>К</b>	—	—	0,37 ± 0,17	<b>0,26</b>
Натрий	11	К	0,42 ± 0,06	0,25	0,03 ± 0,03	0,02
<b>Магний</b>	<b>12</b>	<b>К</b>	<b>3,02 ± 0,20</b>	<b>1,68</b>	<b>0,44 ± 0,05</b>	<b>0,24</b>
Алюминий	13	К	0,18 ± 0,04	0,09	0,11 ± 0,03	0,05
Кремний	14	К	0,25 ± 0,04	0,12	0,07 ± 0,03	0,04
Фосфор	15	К	0,48 ± 0,05	0,21	0,05 ± 0,03	0,02
Хлор	17	К	0,04 ± 0,03	0,01	0,07 ± 0,03	0,03
Кальций	20	К	0,44 ± 0,04	0,15	0,09 ± 0,03	0,03
Железо	26	К	0,03 ± 0,03	0,01	—	—

ков этой крупной фольги, а на рис. 11, б и 12, б приведены ХСРИ, измеренные в т. 18 и 19 соответственно. В табл. 3 даны концентрации элементов в этих двух точках. Видно, что фольга на рис. 10–12 содержит много углерода и кислорода, значительное количество азота, в связанном состоянии с присутствием фтора и почти все элементы вплоть до кальция и железа.

На рис. 13 представлено СЭМ-изображение пяти частиц сложной формы (а), а также ХСРИ в т. 20 и 21 (б, в). На рис. 14 даны: СЭМ-изображение двух частиц (а) и ХСРИ в т. 22 (б). В табл. 4 приведены концентрации элементов в т. 20–22.

Из таблицы видно, что в трех частицах, в которых был проведен РМЗА, присутствуют в больших количествах углерод и кислород. Следует также отметить значительное количество азота (см. табл. 3) и особенно магния (см. табл. 1–3 и спектры на рис. 7, б и 8, б). Табл. 3 и 4 свидетельствуют о наличии фтора.

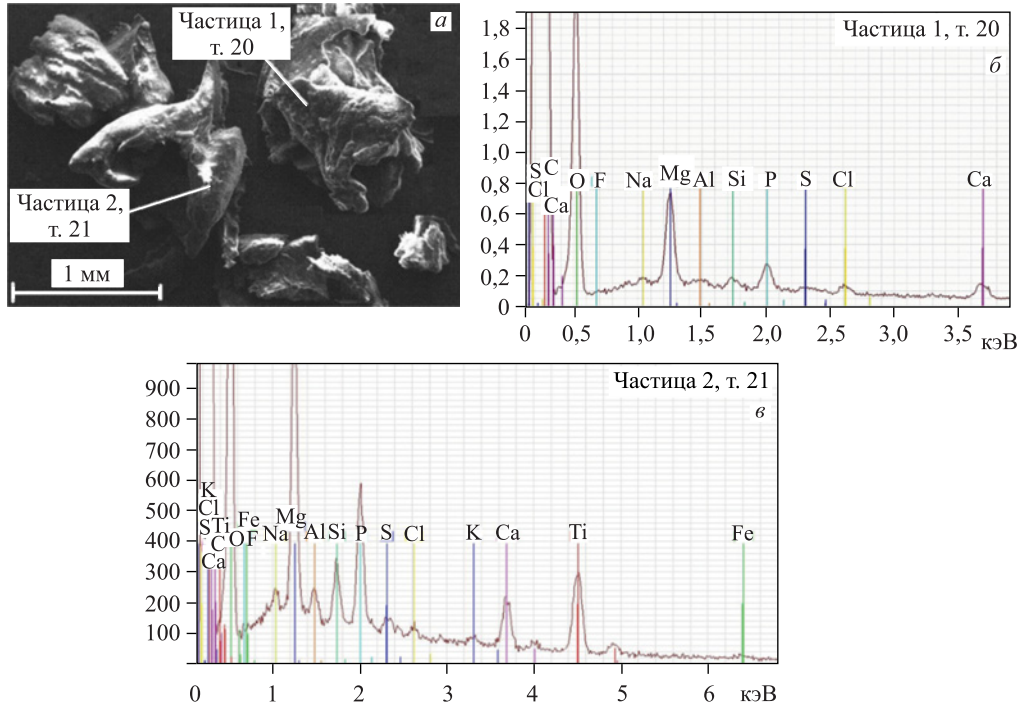


Рис. 13. СЭМ-изображение пяти частиц (а) и ХСРИ (б, в), полученные в т. 20 и 21

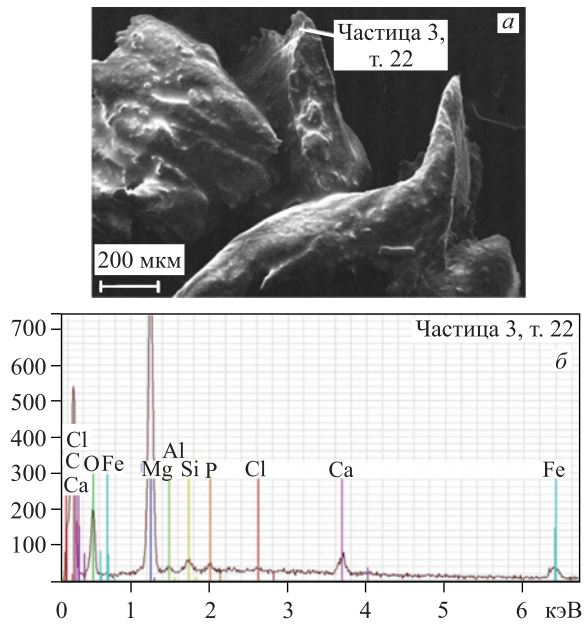


Рис. 14. СЭМ-изображение двух частиц (а) и ХСРИ (б), полученные в т. 22

Таблица 4. Элементный состав частиц на рис. 13, а и 14, а в т. 20–22

Элемент	Z	Серия	(C ± ΔC),	C,	(C ± ΔC),	C,	(C ± ΔC),	C,
			вес. %	ат. %	вес. %	ат. %	вес. %	ат. %
			Т. 20		Т. 21		Т. 22	
Углерод	6	К	<b>58,2 ± 6,8</b>	<b>65,9</b>	<b>52,79 ± 6,31</b>	<b>62,14</b>	<b>51,04 ± 5,15</b>	<b>62,10</b>
Азот	7	К	—	—	—	—	<b>4,88 ± 1,32</b>	<b>5,09</b>
Кислород	8	К	37,6 ± 4,8	32,0	37,47 ± 4,77	33,11	24,30 ± 2,97	22,20
Фтор	9	К	0,53 ± 0,20	0,38	0,73 ± 0,23	0,55	—	—
Натрий	11	К	0,18 ± 0,04	0,10	0,77 ± 0,08	0,47	0,05 ± 0,03	0,03
<b>Магний</b>	<b>12</b>	<b>К</b>	<b>1,35 ± 0,10</b>	<b>0,75</b>	<b>3,08 ± 0,20</b>	<b>1,79</b>	<b>14,61 ± 0,57</b>	<b>8,78</b>
Алюминий	13	К	0,10 ± 0,03	0,05	0,36 ± 0,05	0,19	0,29 ± 0,04	0,15
Кремний	14	К	0,22 ± 0,04	0,11	0,41 ± 0,04	0,20	0,59 ± 0,05	0,31
Фосфор	15	К	0,60 ± 0,05	0,26	1,09 ± 0,07	0,50	0,38 ± 0,04	0,18
Сера	16	К	0,15 ± 0,03	0,06	0,13 ± 0,03	0,06	0,14 ± 0,03	0,06
Хлор	17	К	0,21 ± 0,04	0,08	0,08 ± 0,03	0,03	0,09 ± 0,03	0,04
Калий	19	К	0,05 ± 0,03	0,02	0,08 ± 0,03	0,03	—	—
Кальций	20	К	0,60 ± 0,05	0,20	0,71 ± 0,05	0,25	1,15 ± 0,06	0,42
Титан	22	К	—	—	2,17 ± 0,09	0,64	—	—
Железо	26	К	0,08 ± 0,03	0,02	0,12 ± 0,03	0,03	2,13 ± 0,09	0,56
Никель	28	К	0,02 ± 0,03	0,00	—	—	—	—
Медь	29	К	0,05 ± 0,03	0,01	—	—	0,37 ± 0,05	0,08

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В работе изучены синтезированные крупные черные углеродные фольги с протяженными стержнями, расположенными как вдоль поверхностей фольг (как бы внутри них), так и торчащими наружу, и более мелкие частицы (см. фотографии на рис. 2, 3, а также СЭМ-изображения на рис. 4, 5, 6, а, 7, а, 8, а, 9, а, 11, а, 12, а). Как видно из рис. 2, а и 3, наиболее крупные куски фольг представляют собой отделившиеся от стенок камеры высокого давления (рис. 1, поз. 5 и 6) части цилиндра (см. рис. 3) с диаметром, равным диаметру камеры высокого давления.

Сделаем оценку количества гелия, которое было израсходовано при синтезе новых элементов: исходное давление гелия составляло 1092 бар, а конечное — примерно 426 бар. Будем считать, что плотный гелий по массовой и атомной плотности близок к молекулярному дейтерию при высоком давлении. Выбираем соответствующие значения плотностей для дейтерия при вышеуказанных давлениях (см. [10]):  $\rho_{\text{He}}(P = 1 \text{ кбар}) \approx 0,099 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ ;  $n_{\text{He}}(P = 1 \text{ кбар}) \approx 1,36 \cdot 10^{22} \text{ атомов He} \cdot \text{см}^{-3}$ ;  $\rho_{\text{He}}(P = 0,5 \text{ кбар}) \approx 0,062 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ ;  $n_{\text{He}}(P = 0,5 \text{ кбар}) \approx 0,82 \cdot 10^{22} \text{ атомов He} \cdot \text{см}^{-3}$ . Внутренние размеры реакционной камеры (см. рис. 1, поз. 8): 15 мм — длина, 8 мм — диаметр, ее внутренний объем составляет  $V_{\text{He}} = 0,75 \text{ см}^3$ . Предполагая, что десорбции гелия при облучении не происходило, а изменение массы, давления и плотности гелия обусловлено образованием преимущественно углерода (см. [21–25] и ниже), можно получить, что общая масса образовавшегося углерода (и других элементов) составляет значительную величину:  $\Delta m_{\text{He}} \propto \{\rho_{\text{He}}(1 \text{ кбар}) - \rho_{\text{He}}(0,5 \text{ кбар})\} V_{\text{He}} = 0,0277 \text{ г}$ .

Вычисляя массу  $\Delta m_{\text{He}} \propto \{n_{\text{He}}(1 \text{ кбар}) - n_{\text{He}}(0,5 \text{ кбар})\} M_{\text{He}} V_{\text{He}} = 0,0269 \text{ г}$ , отсюда можно заключить, что массовое количество гелия  $\Delta m_{\text{He}} \approx 0,027 \text{ г}$  вполне сопоставимо с массой углеродных фольг и других объектов, включая углеродное покрытие поверхности медной реакционной камеры или иначе — втулки (см. рис. 1, поз. 8) [23].

Принимая во внимание все результаты по оценкам концентраций химических элементов, полученные при исследовании углеродных фольг (рис. 2, 3, 10, 12, 13, *a* и 14, *a*), а также учитывая данные в табл. 1–4, отметим наиболее важные для возможных объяснений обнаруженных аномалий в элементном составе синтезированных структур.

Концентрации углерода составляют 67,04 и 62,10 ат.%, при этом присутствует в значительных количествах азот — 5,22 и 5,09 ат.% (см. табл. 3 и 4). Особо следует отметить значительные концентрации магния: 16,64 ат.% — табл. 1, 17,31 ат.% — табл. 2, 1,68 и 0,24 ат.% — табл. 3, 0,75, 1,79 и 8,78 ат.% — табл. 4. В табл. 1, 2 оценки концентраций элементов получены без учета углерода: он был исключен из расчетов с тем, чтобы оценить низкие значения концентраций для ряда элементов в диапазоне азот–железо.

Был выполнен ряд проверочных экспериментов с гелием (3,05 кбар) и с гелием (2,4 кбар) с палладиевым стержнем внутри HeHPC, результаты которых подтверждают данные, приведенные в этой работе, и которые опубликованы в [23–30]. В новых работах [27–30] представлены дополнительные детальные экспериментальные результаты по измерению концентрации элементов в обнаруженных объектах на поверхностях, разрезанных вдоль осей: двух внутренних и внешних поверхностей входного окна из бериллиевой бронзы; двух внутренних поверхностей медной втулки, в которой преимущественно проходили ядерные и химические реакции; поверхности медного сборника продуктов реакций (см. рис. 1, поз. 4, 5, 8 и 9 соответственно). Было показано, что, как и в настоящей работе, основным элементом оказался углерод с присутствием более тяжелых элементов массами от углерода до железа, никеля и меди. Особо отметим, что практически все внутренние поверхности элементов камер HeHPC покрылись заметным слоем углерода, а химический состав обнаруженных структур примерно соответствует составам, приведенным в данной работе.

В заключение хочется отметить, что, несмотря на многие проведенные авторами работы эксперименты и на воспроизводимость их результатов, реальная природа обнаруженных эффектов еще далека от понимания. По-видимому, следует провести детальные эксперименты с изменением энергии  $\gamma$ -квантов, их потока и других параметров облучения, а также с иным составом газов и металлов внутри камер высокого давления.

Очевидно, что здесь мы имеем дело с ядерными превращениями; авторы отдали себе отчет в том, что любые количественные оценки трудно сопоставить с современными представлениями о механизме и вероятности ядерных реакций. Таким образом, полученные результаты ожидают объяснения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Nuclear Reactions, Induced by  $\gamma$  Quanta, in Palladium Saturated with Deuterium Surrounded by Dense Deuterium Gas // *Eur. Phys. Lett.* 2012. V. 99. P. 22001-P1–22001-P6.
2. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Nuclear Reactions in Deuterium-Saturated Palladium under Irradiation by 10 MeV  $\gamma$ -Quanta in Dense Molecular Deuterium at 1.2 kbar Pressure // *Eur. Phys. Lett.* 2013. V. 103. P. 42002-1–42002-6.

3. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Chemical Composition and Structural Phase Changes of Novel Synthesized Structure and of Pd Sample under  $\gamma$ -Quanta Irradiation in Dense Deuterium Gas // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2012. V. 9, No. 8. P. 615–631; JINR Preprint E15-2012-34. Dubna, 2012.
4. *Дидык А. Ю., Вишневецкий П.* Синтез новых структур в плотном газообразном дейтерии и насыщенном дейтерием палладии при ядерных реакциях, инициированных  $\gamma$ -квантами // *Физика и химия обработки материалов.* 2012. № 5. С. 5–13; Препринт ОИЯИ P15-2012-50. Дубна, 2012.
5. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R., Wilczynska-Kitowska T.* Deuteron Disintegration, Thermonuclear and Nuclear Fission Reactions Induced by  $\gamma$ -Quanta in D-Saturated Palladium and Dense Deuterium Gas with Synthesis of New Structures // *J. Surface Investigation. X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques.* 2013. V. 7, No. 2. P. 239–247.
6. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Synthesis of New Structures in Dense Deuterium Gas and Deuterated Palladium under Nuclear Reactions Induced by  $\gamma$  Quanta // *Inorganic Materials: Appl. Res.* 2013. V. 4, No. 3. P. 5–13.
7. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R., Wilczynska-Kitowska T.* Changes of Surface Structure and Elemental Composition of Pd Rod and Collector of Nuclear Reaction Products Irradiated with 10-MeV  $\gamma$ -Quanta in Dense Deuterium Gas // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2013. V. 10, No. 7. P. 804–819; JINR Preprint P15-2013-15. Dubna, 2013.
8. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R., Wilczynska-Kitowska T.* Changes of Surface Structure and Elemental Composition of Components of Deuterium High-Pressure Chamber with Pd Rod Inside Irradiated with 10-MeV  $\gamma$ -Quanta in Dense Deuterium Gas // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2013. V. 10, No. 7. P. 820–832; JINR Preprint P15-2013-20. Dubna, 2013.
9. *Дидык А. Ю., Вишневецкий П.* Ядерные реакции в насыщенном дейтерием палладии и рении в атмосфере плотного дейтерия при облучении  $\gamma$ -квантами непрерывного спектра с граничной энергией 23 МэВ // *Письма в ЭЧАЯ.* 2013. Т. 10, № 4(181). С. 603–621; Препринт ОИЯИ P15-2012-63. Дубна, 2012.
10. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Properties of Hydrogen and Its Isotopes under High Pressure, and Technological Applications. Dubna: JINR, 2013. 320 p.
11. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* The Study of Changes in the Element Compositions of Pd and Re Specimens Irradiated in Dense Gaseous Deuterium by  $\gamma$ -Quanta with Boundary Energy up to 23 MeV // *J. Phys. Sci. Appl.* 2013. V. 3, No. 4. P. 209–217.
12. *Дидык А. Ю., Вишневецкий П.* Изменения поверхности, объемных свойств образцов ванадия и нержавеющей стали, облученных в плотном газообразном дейтерии  $\gamma$ -квантами с пороговой энергией 23 МэВ. Препринт P15-2012-75. Дубна, 2012.
13. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Results from the Irradiating Aluminum and Homogeneous Alloy YMn<sub>2</sub> by 23 MeV  $\gamma$ -Quanta in a Molecular Deuterium Atmosphere at 2 kbar Pressure // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2014. V. 11, No. 2. P. 169–179.
14. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Results from the Irradiation of Stainless Steel and Copper by 23 MeV  $\gamma$ -Quanta in the Atmosphere of Molecular Deuterium at a Pressure of 2 kbar // *Ibid.* No. 3. P. 309–328.
15. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Structure and Chemical Composition Changes of Pd Rod and Reaction Product Collector Irradiated by 10 MeV Braking Gamma Quanta inside High Pressure Chamber Filled with 2.5 kbar Molecular Hydrogen // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2014. V. 11, No. 4. P. 513–527.
16. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Synthesis of Microobjects in 1 kbar Hydrogen Induced by 10 MeV Bremsstrahlung  $\gamma$  Quanta on Inner Surfaces of Components of a High Pressure Chamber (Part 1) // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2015. V. 12, No. 1. P. 125–144.

17. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Synthesis of Microparticles in 1 kbar Hydrogen Induced by 10 MeV Bremsstrahlung  $\gamma$  Quanta in a Reaction Chamber (Part 2) // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2015. V. 12, No. 1. P. 145–165.
18. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Synthesis of New Structures on the Surface of Pd Rod and ННРС Elements and Their Chemical Composition in Nuclear Reactions Induced by Bremstrahlung  $\gamma$  Quanta with Threshold Energy of 10 MeV in Molecular Hydrogen at a Pressure of 0.5 kbar // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2015. V. 12, No. 4. P. 603–617; Препринт ОИЯИ Р15-2014-6. Дубна, 2014.
19. *Дидык А. Ю., Вишневецкий Р.* Химический состав и структура синтезированных частиц на поверхности ННРС при ядерных реакциях при облучении тормозными  $\gamma$ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ в молекулярном водороде при давлении 0,5 кбар. Препринт ОИЯИ Р15-2014-7. Дубна, 2014.
20. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Phenomenological Nuclear-Reaction Description in Deuterium-Saturated Palladium and Synthesized Structure in Dense Deuterium Gas under  $\gamma$ -Quanta Irradiation // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2013. V. 10, No. 3. P. 283–287; JINR Preprint E15-2012-35. Dubna, 2012.
21. *Ииханов Б. С., Капитонов И. М., Тутынь И. А.* Нуклеосинтез во Вселенной. М.: Либроком, 2009; <http://nuclphys.sinp.msu.ru/nuclsynt.html>.
22. *Gamov G.* Nuclear Energy Sources and Stellar Evolution // *Phys. Rev.* 1938. V. 53. P. 595–604.
23. *Дидык А. Ю., Вишневецкий Р.* Ядерные реакции, синтез элементов и новых структур в плотном гелии при давлении 1,1 кбар под действием облучения тормозными  $\gamma$ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2014-50. Дубна, 2014.
24. *Didyk A. Yu., Wisniewski R., Wilczynska-Kitowska T.* The Carbon-Based Structures Synthesized through Nuclear Reactions in Helium at 1.1 kbar Pressure under Irradiation with Braking  $\gamma$ -Rays of 10 MeV Threshold Energy // *Eur. Phys. Lett.* 2015. V. 109. P. 22001-P1–22001-P6.
25. *Дидык А. Ю., Вишневецкий Р., Вильчиньска-Китовска Т.* Синтез структур на основе углерода в ядерных реакциях под действием тормозных  $\gamma$ -квантов с пороговой энергией 10 МэВ в спектрально чистом гелии при давлении 1,1 кбар // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исслед.* 2015. № 11. С. 84–95.
26. *Дидык А. Ю.* Ядерные реакции синтеза и деления химических элементов и образование новых структур в плотных газах  $\text{H}_2$ ,  $\text{D}_2$  и  $\text{He}$  при облучении 10-МэВ  $\gamma$ -квантами // *Физика и химия обработки материалов.* 2015. № 2. С. 5–19.
27. *Didyk A. Yu., Wisniewski R., Wilczynska-Kitowska T.* Objects Obtained by  $\gamma$ -Quanta Irradiated with Threshold Energy of 10 MeV Pure Gaseous He, under High Pressure, in  $\text{CuBe}_2$  Apparatus // *J. Phys. Sci. Appl.* 2015. V. 5, No. 4. P. 268–276.
28. *Дидык А. Ю., Вишневецкий Р.* Синтез новых структур и образование химических элементов в плотном гелии при давлении 3,05 кбар при облучении тормозными  $\gamma$ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2014-87. Дубна, 2014.
29. *Дидык А. Ю., Вишневецкий Р., Семин В. А.* Синтез микрочастиц в гелии при давлении 2,4 кбар с палладиевым стержнем внутри ННРС, облученной тормозными  $\gamma$ -квантами с максимальной энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2015-33. Дубна, 2015.
30. *Дидык А. Ю., Вишневецкий Р., Семин В. А.* Исследование процессов образования новых структур и элементов в ННРС с палладиевым стержнем внутри при давлении 2,4 кбар в результате воздействия тормозных  $\gamma$ -квантов с максимальной энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2015-34. Дубна, 2015.