

P15-2014-88

А. Ю. Дидык *, Р. Вишневецкий^{1, **}

**ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ С СИНТЕЗОМ МИКРОЧАСТИЦ
В ННРС С ЦИЛИНДРОМ ИЗ ОЛОВА
ПРИ ДАВЛЕНИИ 3,5 кбар ВОДОРОДА ПОД ДЕЙСТВИЕМ
ОБЛУЧЕНИЯ ТОРМОЗНЫМИ γ -КВАНТАМИ
С ПОРОГОВОЙ ЭНЕРГИЕЙ 10 МэВ**

Направлено в журнал «Письма в ЭЧАЯ»

¹ Национальный центр ядерных исследований, Отвоцк, Польша

* E-mail: didyk@jinr.ru

** E-mail: roland.wiśniewski@gmail.com

Дидык А. Ю., Вишнеvский Р.

P15-2014-88

Ядерные реакции с синтезом микрочастиц в ННРС с цилиндром из олова при давлении 3,5 кбар водорода под действием облучения тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ

Камера высокого давления ННРС, заполненная молекулярным водородом при давлении 3,5 кбар, была облучена тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ. При вскрытии ННРС высыпались в значительном количестве синтезированные микрочастицы, которые отделились от стенок реакционной камеры. Были проведены детальные исследования элементного состава и структуры всех обнаруженных микрообъектов на всех внутренних поверхностях компонентов ННРС и цилиндра из олова. В результате ядерных реакций при облучении ННРС тормозными γ -квантами произошло образование легких элементов от углерода до металлов средних масс, а также более тяжелых, например бария. Обсуждаются «восходящие» (с синтезом элементов из более легких) и «нисходящие» (с делением более тяжелых ядер на более легкие элементы) ядерные реакции.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2014

Didyk A. Yu., Wiśniewski R.

P15-2014-88

Nuclear Reactions with Synthesis of Structures in HHPC with Hydrogen at a Pressure of 3.5 kbar and a Tin Rod under Irradiation of Braking γ -Rays with a Threshold Energy of 10 MeV

The high-pressure chamber (HHPC) filled with hydrogen under a pressure of about 3.5 kbar was irradiated by braking γ -rays of 10 MeV threshold energy. Upon opening the HHPC, a large number of synthesized microparticles detached from the reaction chamber walls and spilled out. Detailed studies of the element composition and structure of all microobjects detected at the internal surfaces of the HHPC components and tin rod were conducted. As a result of irradiation of the HHPC by braking γ -rays, nuclear reactions took place with the formation of the light elements from carbon to medium-mass metals, as well as heavier ones, such as barium. Possible upward (with synthesis of elements from lighter ones) and downstream (with fission of heavier nuclei into lighter elements) nuclear reactions are discussed.

The investigation has been performed at the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2014

ВВЕДЕНИЕ

В цикле ранее выполненных исследований были изучены изменения элементных составов, структуры всех внутренних поверхностей камер ДНРС, ННРС, HeНРС (deuterium, hydrogen and helium high pressure chambers) и множественные синтезированные структуры (макро- и микрочастицы) из ранее отсутствовавших химических элементов в насыщенном дейтерием палладии в плотном газообразном молекулярном дейтерии [1–13], в металлах (Al, V, Cu, Re) и сплавах ($Y\text{Mn}_2$, нержавеющая сталь) в плотном газообразном дейтерии [14–18], в палладии, насыщенном водородом [19–21], в плотном газообразном молекулярном водороде [22, 23], в плотном газообразном гелии [24, 25]. Модельный подход для описания всех возможных ядерных реакций и атомных процессов при облучении γ -квантами с энергиями в диапазоне 10–25 МэВ атомов среды в ДНРС, ННРС и HeНРС предложен конспективно в работах [20, 23, 25, 26].

Цель данной работы — исследовать элементный состав микрочастиц, которые образовались внутри реакционной камеры ННРС с цилиндром из олова, заполненной плотным молекулярным водородом, при воздействии γ -квантов с энергией 10 МэВ.

Олово в качестве металлического образца в ННРС было выбрано ввиду того, что это дважды магическое ядро, оно обладает большим дефектом массы (энергии связи ядра) и повышенной устойчивостью [27].

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ И ПАРАМЕТРЫ ОБЛУЧЕНИЯ γ -КВАНТАМИ

Схема экспериментальной камеры ННРС с образцом из олова, использованной в данном эксперименте, представлена на рис. 1.

Как видно, внутри камеры был расположен достаточно массивный образец в виде цилиндра из олова (поз. 2) с чистотой 99,9% с исходной массой 8,5731 г при длине 17 мм и диаметре 9,5 мм. С двух сторон этот цилиндр закреплялся двумя втулками (поз. 4) из бериллиевой бронзы (ББ). Внутренняя камера, в которой находился цилиндрический образец из олова, была того же состава, что и сборник продуктов реакций (поз. 3), а именно из ББ. Входное

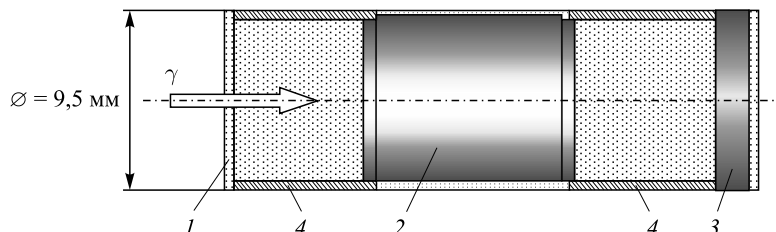


Рис. 1. Схема реакционной камеры, заполненной водородом, с образцом Sn: 1 — входное окно из бериллиевой бронзы; 2 — образец олова; 3 — сборник продуктов; 4 — две реакционные камеры (втулки)

окно (поз. 1), как и ранее [1–5], было изготовлено из ББ. Исходное давление водорода внутри реакционной камеры составляло 3,5 кбар. При таком давлении массовая плотность водорода приблизительно равна $0,0868 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$, а атомная плотность водорода — $5,186 \cdot 10^{22} \text{ ат. н} \cdot \text{см}^{-3}$ [10].

Энергия электронов при облучении на ускорителе МТ-25 Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова составляла $E_e \cong 10 \text{ МэВ}$, а ток пучка варьировался в пределах 22–24 мкА. Для получения тормозных γ -квантов использовалась вольфрамовая мишень толщиной 2,5 мм, за которой располагался поглотитель электронов из алюминия толщиной 25 мм. Температура защитной оболочки ННРС в стационарном режиме при облучении составляла 60–64 °С.

Облучение γ -квантами было проведено в течение 69 ч 47 мин (т.е. $2,51 \cdot 10^5 \text{ с}$). При вскрытии камеры измеренное значение давления водорода оказалось равным примерно 3,0 кбар, из реакционной камеры выпало значительное количество частиц черного цвета (примерно 30–40 шт.). Затем все внутренние поверхности компонентов ННРС (поз. 1–4), имевшие контакт с водородом, и значительная часть из этих синтезированных частиц были исследованы методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгеновского микрозондового анализа (РМЗА). Измерения проведены в аналитическом центре НЦВО РАН, зондовой нанолaborатории НИИЯФ им. Д. В. Скобельцына МГУ, а также в аналитическом центре ФГБНУ «НИИ ПМТ».

2. РЕЗУЛЬТАТЫ РЭМ- И РМЗА-ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ННРС С ОЛОВЯННЫМ ЦИЛИНДРОМ ВНУТРИ, ИМЕВШИХ КОНТАКТ С ПЛОТНЫМ ВОДОРОДОМ

2.1. Аномалии на входном окне из бериллиевой бронзы. Приведем ниже результаты исследований, выполненные в аналитическом центре ФГБНУ «НИИ ПМТ». На рис. 2 представлены РЭМ-изображения торцевой части входного окна (ВО) (а) с протяженными структурами на его поверхности (б).

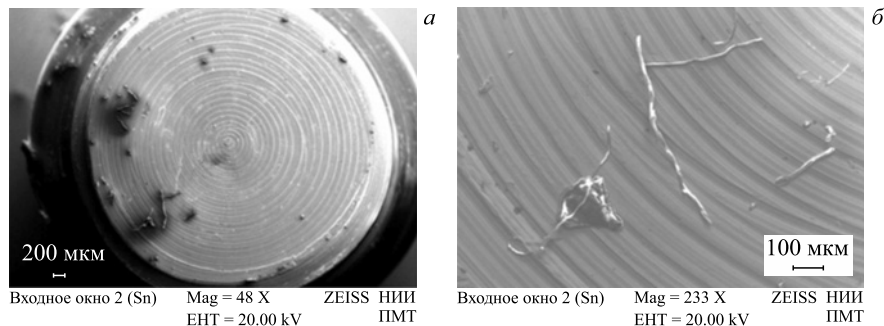


Рис. 2. РЭМ-изображения торцевой части ВО (а) и структуры на ней (б)

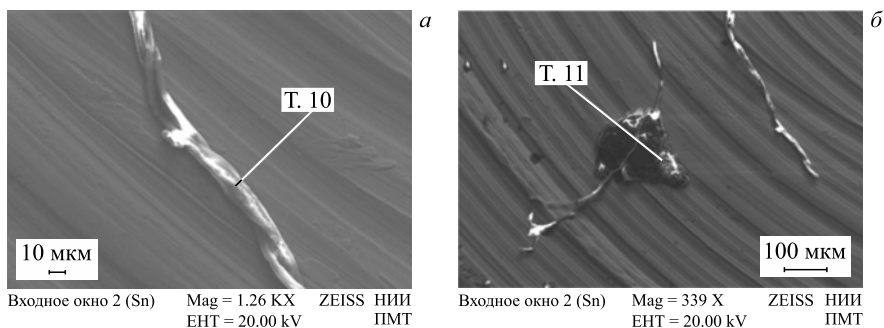


Рис. 3. РЭМ-изображения структуры в виде тонкостенной трубки (а) и структуры сложной формы (б), в т. 10 и 11 которых проведен РМЗА

Таблица 1. Элементный состав в т. 10 и 11 на рис. 3

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %		C , ат. %	
		Т. 10	C , ат. %	Т. 11	C , ат. %
Углерод	К	$41,39 \pm 4,91$	65,63	$53,35 \pm 5,74$	72,50
Кислород	К	$18,32 \pm 2,34$	21,81	$19,46 \pm 2,44$	19,86
Магний	К	$0,11 \pm 0,04$	0,09	$0,07 \pm 0,03$	0,05
Алюминий	К	$0,01 \pm 0,03$	0,00	$0,11 \pm 0,03$	0,07
Кремний	К	$0,26 \pm 0,04$	0,18	$0,14 \pm 0,03$	0,08
Фосфор	К	$0,03 \pm 0,03$	0,02	$0,21 \pm 0,04$	0,11
Сера	К	$0,18 \pm 0,03$	0,11	$1,19 \pm 0,07$	0,61
Хлор	К	$0,53 \pm 0,05$	0,29	$0,36 \pm 0,04$	0,17
Калий	К	$0,44 \pm 0,04$	0,22	$0,13 \pm 0,03$	0,06
Кальций	К	$0,22 \pm 0,03$	0,10	$0,36 \pm 0,04$	0,15
Железо	К	$0,32 \pm 0,04$	0,11	$1,24 \pm 0,07$	0,36
Никель	К	$0,18 \pm 0,04$	0,06	—	—
Медь	К	$38,00 \pm 0,98$	11,59	$23,37 \pm 0,57$	6,00

На рис. 3 представлены РЭМ-изображения структуры в виде тонкостенной трубки (а) и структуры сложной формы (б), в т. 10 и 11 которых проведен РМЗА. В табл. 1 приведен соответствующий элементный состав.

Из таблицы видно, что в структуре присутствует большое количество углерода (65,63 ат. % (а) и 72,50 ат. % (б)), серы (1,19 вес. % (б)) и железа (0,32 вес. % (а) и 1,24 вес. % (б)) наряду с более легкими элементами от углерода до кальция.

На рис. 4 представлены РЭМ-изображения компактной структуры (а) и структуры рыхлого вида (б), в т. 12 и 13 которых проведен РМЗА. Отметим:

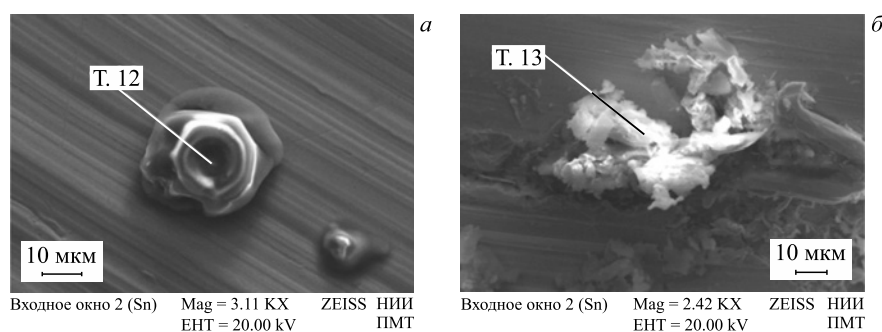


Рис. 4. РЭМ-изображения компактной структуры (а) и структуры рыхлого вида (б), в т. 12 и 13 которых проведен РМЗА

Таблица 2. Элементный состав в т. 12 и 13 на рис. 4

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %		C , ат. %	
		T. 12	T. 13	T. 12	T. 13
Углерод	К	70,58 ± 8,69	47,61 ± 5,59	79,00	60,93
Азот	К	—	4,76 ± 1,07	—	5,22
Кислород	К	21,70 ± 3,47	28,15 ± 3,58	18,23	27,04
Фтор	К	—	0,93 ± 0,26	—	0,75
Натрий	К	0,41 ± 0,06	2,03 ± 0,16	0,24	1,36
Магний	К	0,24 ± 0,04	0,35 ± 0,05	0,13	0,22
Алюминий	К	0,33 ± 0,05	0,26 ± 0,04	0,16	0,15
Кремний	К	0,41 ± 0,05	0,17 ± 0,03	0,19	0,09
Фосфор	К	0,62 ± 0,06	0,03 ± 0,03	0,27	0,02
Сера	К	0,72 ± 0,06	0,24 ± 0,04	0,30	0,12
Хлор	К	0,60 ± 0,05	0,79 ± 0,05	0,23	0,34
Калий	К	0,14 ± 0,03	0,76 ± 0,05	0,05	0,30
Кальций	К	2,22 ± 0,10	0,50 ± 0,04	0,75	0,19
Железо	К	0,34 ± 0,05	0,35 ± 0,04	0,08	0,10
Медь	К	1,68 ± 0,11	13,06 ± 0,38	0,36	3,16

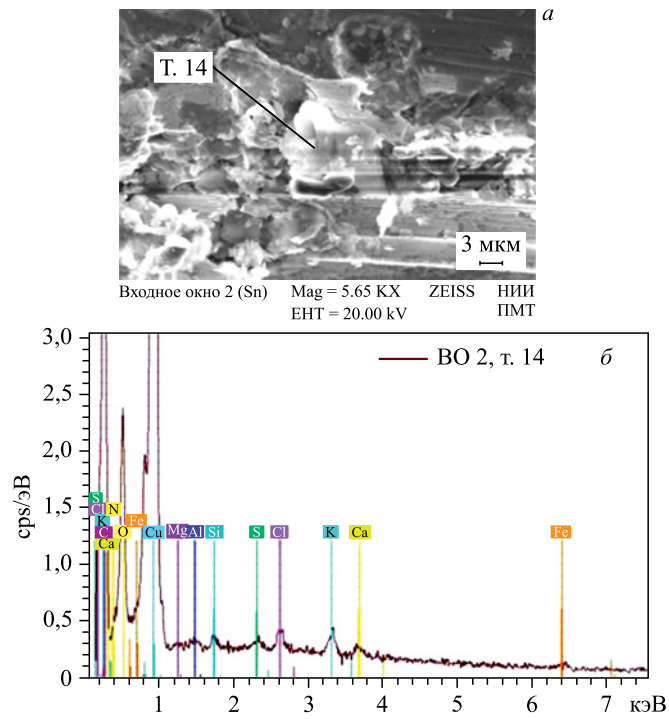


Рис. 5. РЭМ-изображение сильно измененного участка поверхности ВО, в т. 14 которого проведен РМЗА (а), и соответствующий ХСРИ (б)

Таблица 3. Элементный состав в т. 14 на рис. 5, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Углерод	К	$33,75 \pm 4,44$	54,11
Азот	К	$6,94 \pm 1,43$	9,55
Кислород	К	$19,91 \pm 2,74$	23,96
Магний	К	$0,16 \pm 0,04$	0,12
Алюминий	К	$0,19 \pm 0,04$	0,12
Кремний	К	$0,12 \pm 0,03$	0,08
Сера	К	$0,14 \pm 0,03$	0,08
Хлор	К	$0,32 \pm 0,04$	0,17
Калий	К	$0,40 \pm 0,04$	0,20
Кальций	К	$0,21 \pm 0,04$	0,10
Железо	К	$0,20 \pm 0,04$	0,07
Медь	К	$37,67 \pm 1,02$	11,42

в процессе измерения характеристического спектра рентгеновского излучения (ХСРИ) структура (рис. 4, *a*) из выпуклой и округлой трансформировалась во вздувшуюся с провалом в ее центре. В табл. 2 приведен элементный состав в т. 12 и 13.

Обращает внимание присутствие во вздувшейся частице (*a*) значительных количеств кальция (2,22 вес. %) и особенно углерода (79,0 ат. %). При этом толщина частицы также велика, поскольку меди, из которой состоит ВО, только 0,36 ат. %. В рыхлой структуре присутствуют летучие примеси азота (5,22 ат. %) и фтора (0,75 ат. %), которые могут находиться только в химически связанных состояниях. Имеется много натрия (2,03 вес. %).

На рис. 5 представлены: сильно измененный участок поверхности ВО, в т. 14 которого проведен РМЗА (*a*), и соответствующий ХСРИ (*б*). В табл. 3 дан элементный состав.

Из таблицы видно, что на участке, где сделан РМЗА, присутствует летучая примесь азота (9,55 ат. %), которая может находиться только в химически связанном состоянии.

На рис. 6 приведены РЭМ-изображения двух структур на ВО, которые были обнаружены при исследованиях методами РЭМ и РМЗА.

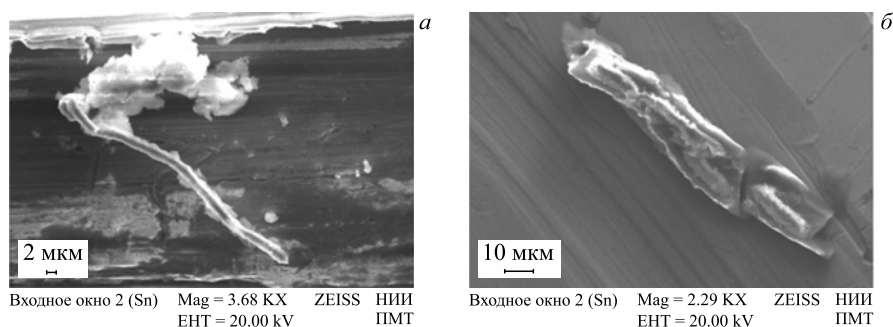


Рис. 6. РЭМ-изображения двух структур на поверхности ВО

На рис. 7 представлено изображение сложной структуры, как бы приросшей к поверхности ВО, в т. 15 которой проведен РМЗА (*a*), а также соответствующий ХСРИ (*б*). В табл. 4 приведен элементный состав в этой точке.

На рис. 8, *a* представлено изображение структуры эллиптической формы, которая по краям, словно приросла к поверхности ВО, в т. 16 был проведен РМЗА, а соответствующий ХСРИ см. на рис. 8, *б*. Результаты приведены в табл. 5.

Видно, что частица состоит из значительного количества кислорода (39,74 вес. %) и углерода (22,31 вес. %), а также содержит натрий (1,36 вес. %),

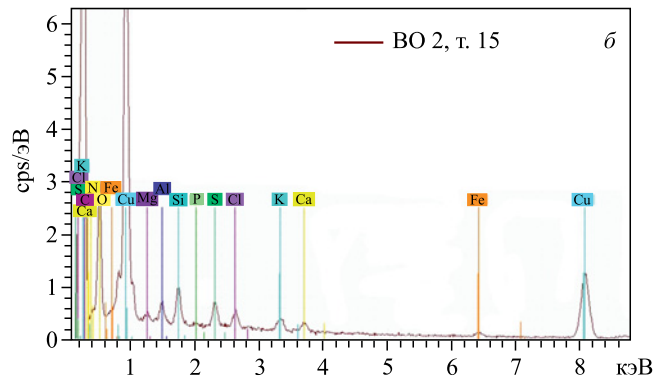
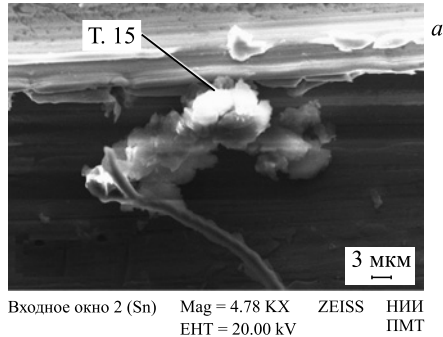


Рис. 7. РЭМ-изображение сложной структуры, как бы приросшей к поверхности ВО, в т. 15 которой проведен РМЗА (а), и соответствующий ХСРИ (б)

Таблица 4. Элементный состав в т. 15 на рис. 7, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	К	$49,19 \pm 5,95$	65,30
Кислород	К	$27,83 \pm 3,61$	27,74
Магний	К	$0,69 \pm 0,07$	0,46
Алюминий	К	$0,73 \pm 0,06$	0,43
Кремний	К	$0,85 \pm 0,06$	0,48
Сера	К	$0,62 \pm 0,05$	0,31
Хлор	К	$0,44 \pm 0,04$	0,20
Калий	К	$0,50 \pm 0,04$	0,20
Кальций	К	$0,40 \pm 0,04$	0,16
Железо	К	$0,37 \pm 0,04$	0,10
Медь	К	$18,33 \pm 0,52$	4,60

магний (2,27 вес. %), алюминий (10,72 вес. %), кремний (9,53 вес. %), калий (4,21 вес. %), титан (0,72 вес. %), много железа (4,60 вес. %) и мало основного элемента ВО — меди (3,39 вес. %).

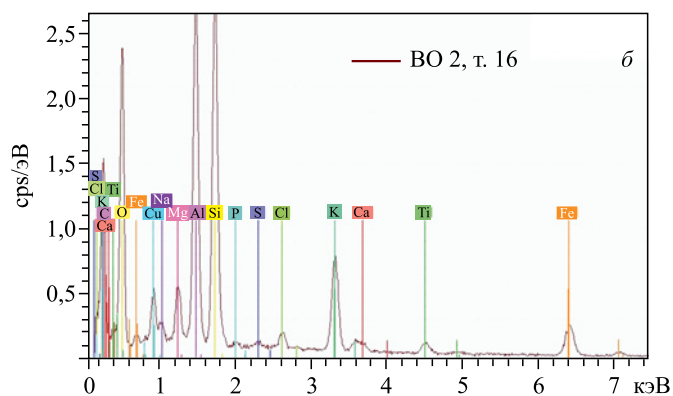
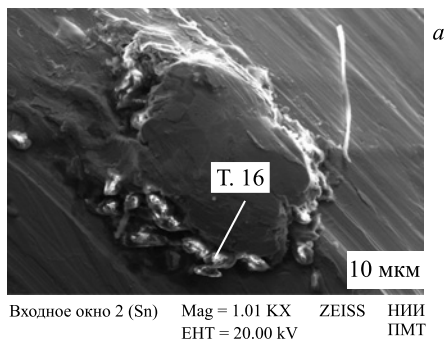


Рис. 8. РЭМ-изображение эллиптической структуры на поверхности ВО₂ в т. 16 которой проведен РМЗА (а), и соответствующий ХСРИ (б)

Таблица 5. Элементный состав в т. 16 на рис. 8, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	K	$22,31 \pm 3,57$	32,64
Кислород	K	$39,74 \pm 5,28$	44,98
Натрий	K	$1,36 \pm 0,13$	1,07
Магний	K	$2,27 \pm 0,16$	1,69
Алюминий	K	$10,72 \pm 0,57$	7,19
Кремний	K	$9,53 \pm 0,45$	6,14
Фосфор	K	$0,13 \pm 0,03$	0,08
Сера	K	$0,17 \pm 0,04$	0,10
Хлор	K	$0,52 \pm 0,05$	0,27
Калий	K	$4,21 \pm 0,17$	1,95
Кальций	K	$0,34 \pm 0,04$	0,15
Титан	K	$0,72 \pm 0,06$	0,27
Железо	K	$4,60 \pm 0,17$	1,49
Медь	K	$3,39 \pm 0,15$	0,96

2.2. Аномалии на цилиндре из олова (ОЦ).

Исследование поверхности торцов ОЦ. На рис.9 приведены РЭМ-изображения двух торцов ОЦ (вид сверху) в месте входа (а) и выхода (б) γ -квантов. В месте выхода наблюдаются выступы на поверхности в виде холмиков, один из которых показан на рис. 9, б.

На рис. 10 представлено СЭМ-изображение торца ОЦ на рис. 9, а с большим увеличением в месте входа γ -квантов. В центральной части на рис. 10 видны в большом количестве плоские структуры в виде тонких пленок, покрывающих поверхность ОЦ и состоящих преимущественно из кремния (см. результаты РМЗА ниже).

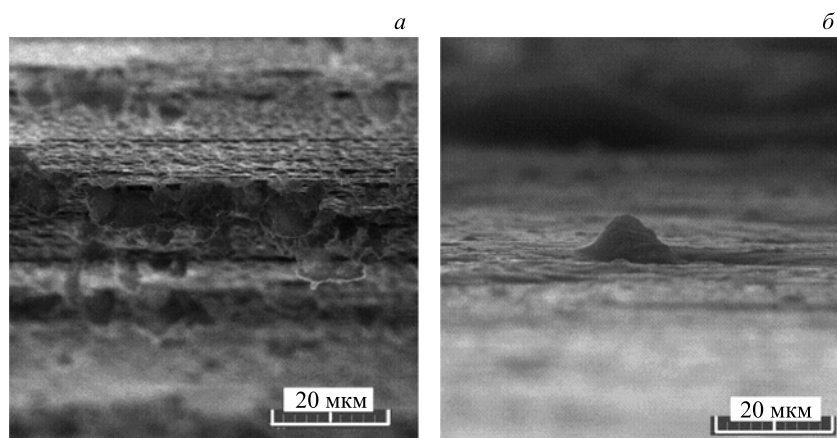


Рис. 9. РЭМ-изображения двух торцов ОЦ в месте входа (а) и выхода (б) γ -квантов

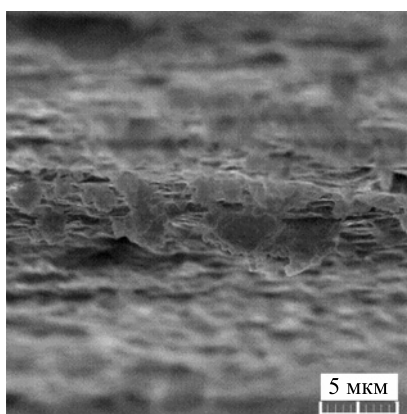


Рис. 10. СЭМ-изображение торца ОЦ на рис. 9, а с большим увеличением

На рис. 11 представлены РЭМ-изображения во вторичных (*a*) и в отраженных электронах (*б*) участка боковой поверхности ОЦ вблизи места входа γ -квантов. Видно, что, начиная с определенного расстояния от места входа, на боковой поверхности ОЦ возникают темные пятна в виде отдельных частиц, более легких, чем олово (рис. 9, *б*).

На рис. 12 приведены РЭМ-изображения во вторичных (*a*) и в отраженных электронах (*б*) центральной части участка боковой поверхности ОЦ, покрытого множественными темными мелкими пятнами (см. также рис. 11).

На рис. 13 представлены РЭМ-изображения во вторичных (*a*) и в отраженных электронах (*б*) участка боковой поверхности ОЦ, удаленного от места входа γ -квантов. Видно, что, начиная с определенного расстояния от места входа, на боковой поверхности ОЦ возникают темные пятна в виде отдель-

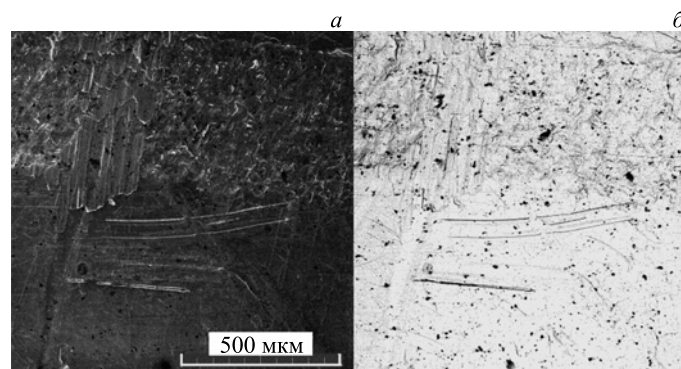


Рис. 11. РЭМ-изображения во вторичных (*a*) и в отраженных электронах (*б*) участка боковой поверхности ОЦ вблизи места входа γ -квантов

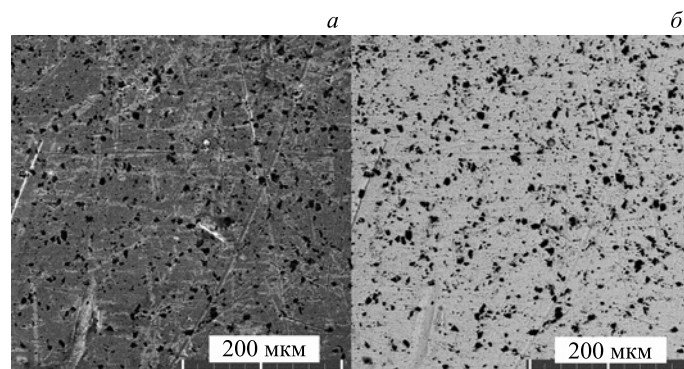


Рис. 12. РЭМ-изображения во вторичных (*a*) и в отраженных электронах (*б*) центральной части участка боковой поверхности ОЦ, покрытого темными мелкими пятнами

ных участков с увеличивающейся плотностью, более легких, чем олово (см. рис. 10 и 11).

Сравнивая рис. 11–13, можно сделать вывод, что по мере удаления от места входа γ -квантов количество мелких черных участков значительно увеличивается: вблизи одного края их совсем мало (см. рис. 11), вблизи другого — черные частицы сплошь покрывают боковую поверхность ОЦ (рис. 13). Для наглядности приведем на рис. 14 РЭМ-изображения участка ОЦ во вторичных (а) и в отраженных электронах (б), удаленного от места входа γ -квантов, с меньшим увеличением.

На рис. 15, а представлено РЭМ-изображение участка боковой поверхности ОЦ, вблизи места входа γ -квантов, с областью (спектр 1), в которой был сделан РМЗА. Соответствующий спектр приведен на рис. 15, б. В табл. 6 дан элементный состав.

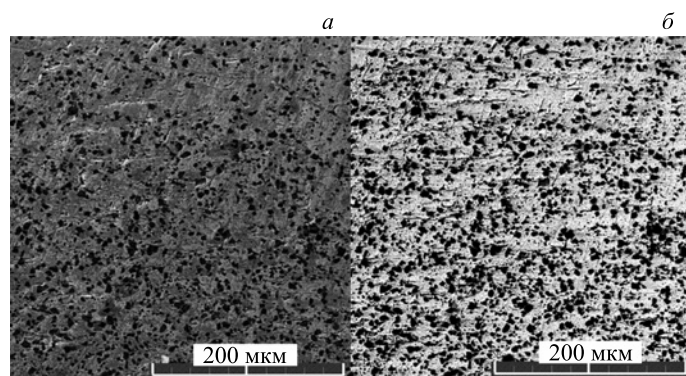


Рис. 13. РЭМ-изображения во вторичных (а) и в отраженных электронах (б) участка боковой поверхности ОЦ, удаленного от места входа γ -квантов

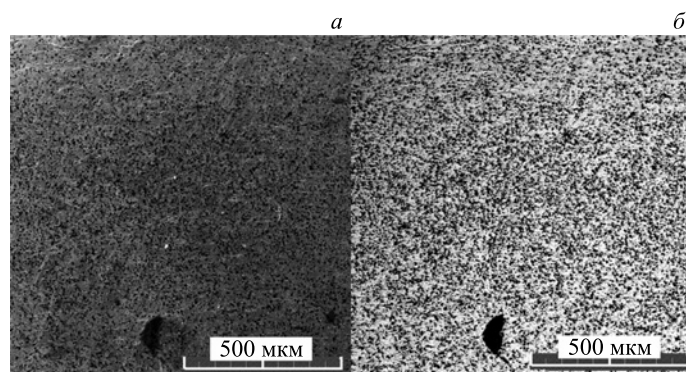


Рис. 14. РЭМ-изображения участка ОЦ во вторичных (а) и в отраженных электронах (б), удаленного от места входа γ -квантов, с меньшим увеличением

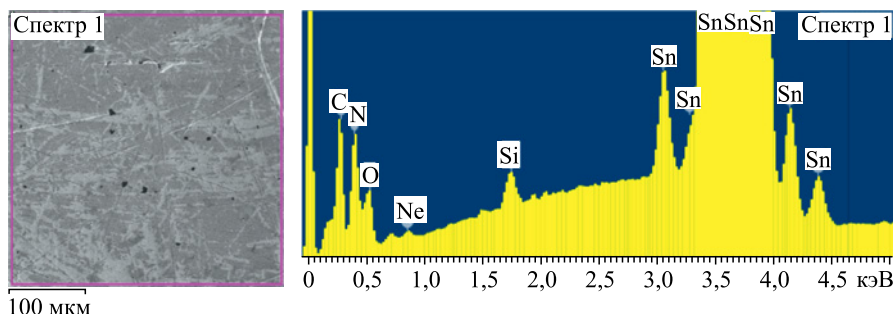


Рис. 15. РЭМ-изображение участка боковой поверхности ОЦ, вблизи места входа γ -квантов, с областью (спектр 1), в которой был сделан РМЗА (а), и соответствующий ХСРИ (б)

Таблица 6. Элементный состав поверхности ОЦ в выделенной области (спектр 1) на рис. 15, а

Элемент	Z	Серия	C, вес. %	C, ат. %
Азот	7	K	2,70	11,74
Кислород	8	K	10,96	41,70
Неон	10	K	0,53	1,61
Кремний	14	K	0,57	1,24
Олово	50	L	85,24	43,72

Углерод при оценках концентрации элементов был удален. Как видно из табл. 6, в ХСРИ (рис. 15, б) присутствуют два летучих элемента — азот (11,74 ат. %) и, что наиболее удивительно, неон (1,61 ат. %). Если азот может вступать в химическое соединение и, таким образом, удерживаться в материале ОЦ, то неон, как инертный газ, может находиться только в порах в свободном состоянии.

На рис. 16, а представлено РЭМ-изображение нескольких темных пятен, вдоль одного из которых проведено сканирование РМЗА по отмеченной линии. Полученные при этом относительные распределения элементов показаны на рис. 16, б. Как видно из распределений, темная частица (пятно) состоит преимущественно из кремния (до 460 отн. ед.) и малого количества углерода (до 5 отн. ед.). Состав «подложки», т. е. поверхности самого олова, на краях полосы сканирования следующий: олово (до 250–320 отн. ед.), углерод (до 10–15 отн. ед.), азот (7–10 отн. ед.), кислород (до 5–10 отн. ед.) и другие элементы, распределения которых здесь не приведены, но которые измерены с большей площади на рис. 17.

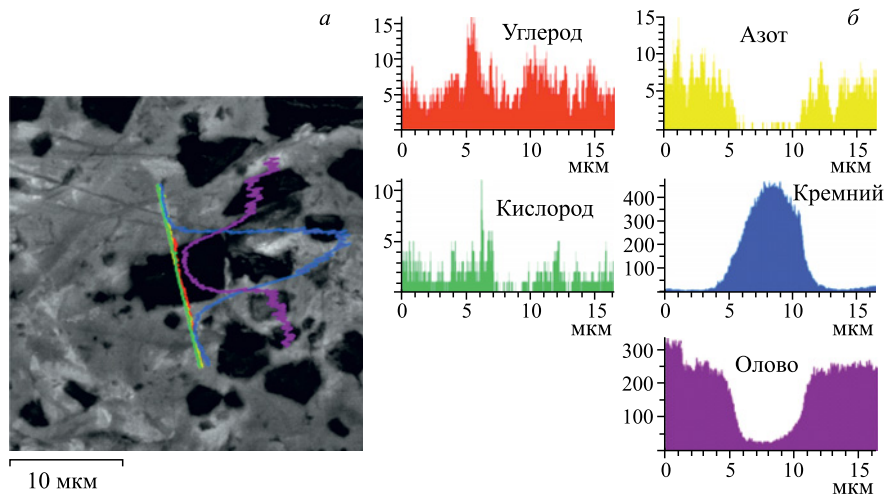


Рис. 16. РЭМ-изображение нескольких темных пятен, вдоль одного из которых проведено сканирование РМЗА по отмеченной полосе (а), и полученные при этом распределения элементов (б)

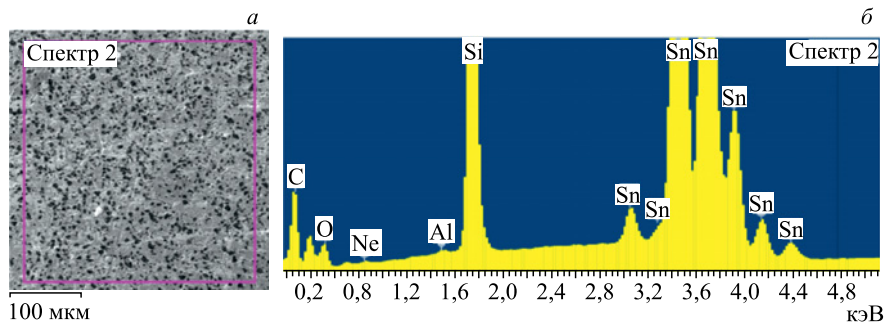


Рис. 17. РЭМ-изображение участка боковой поверхности ОЦ, удаленного от места входа γ -квантов, с областью (спектр 2), в которой был проведен РМЗА (а), и соответствующий ХСРИ (б)

Таблица 7. Элементный состав поверхности ОЦ в выделенной области (спектр 2) на рис. 17,а

Элемент	Z	Серия	C, вес. %	C, ат. %
Кислород	8	K	11,03	36,45
Неон	10	K	0,44	1,15
Алюминий	13	K	0,12	0,24
Кремний	14	K	15,87	29,86
Олово	50	L	72,54	32,31

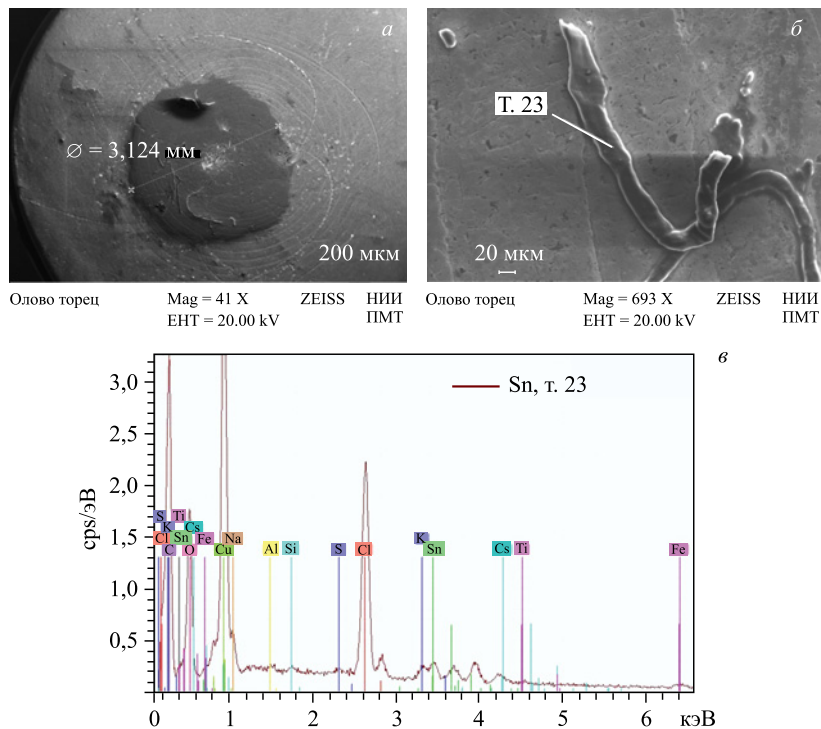


Рис. 18. РЭМ-изображения торца ОЦ в месте выхода γ -квантов (а) и участка поверхности с плоской структурой, в т. 23 которой был сделан РМЗА (б), а также ХСРИ (в)

Таблица 8. Элементный состав структуры на поверхности торца ОЦ в т. 23 на рис. 18, б

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Углерод	K	$45,00 \pm 5,73$	63,78
Кислород	K	$24,28 \pm 3,24$	25,84
Натрий	K	$2,05 \pm 0,16$	1,52
Магний	K	$0,41 \pm 0,05$	0,28
Алюминий	K	$0,25 \pm 0,04$	0,16
Кремний	K	$0,12 \pm 0,03$	0,07
Сера	K	$0,11 \pm 0,03$	0,06
Хлор	K	$5,06 \pm 0,20$	2,43
Калий	K	$0,37 \pm 0,04$	0,16
Титан	K	$0,06 \pm 0,03$	0,02
Железо	K	$0,35 \pm 0,04$	0,11
Медь	K	$19,54 \pm 0,56$	5,24
Олово	L	$1,82 \pm 0,09$	0,26
Цезий	L	$0,58 \pm 0,05$	0,07

На рис. 17, *а* представлено РЭМ-изображение участка боковой поверхности ОЦ, удаленного от места входа γ -квантов, с областью (спектр 2), в которой был сделан РМЗА. Соответствующий ХСРИ приведен на рис. 17, *б*. В табл. 7 см. элементный состав.

На рис. 18 представлены: РЭМ-изображения удаленного торца ОЦ в месте выхода γ -квантов (*а*) и участка поверхности с пластинчатой структурой, по форме напоминающей шнурок, в т. 23 которой был сделан РМЗА (*б*), а также ХСРИ (*в*). В табл. 8 приведен элементный состав, соответствующий ХСРИ на рис. 18, *в*.

Отметим, что на удаленном торце ОЦ образовалось темное пятно диаметром 3,124 мм, отчетливо видимое на рис. 18, *а*. Как видно из табл. 8, плоская удлиненная структура содержит много углерода (63,78 ат. %), кислорода (25,84 ат. %), меди (5,24 ат. %), хлора (2,43 ат. %), натрия (1,52 ат. %), при этом присутствует цезий ($0,58 \pm 0,05$ вес. %), элемент с номером $Z = 55$, и совсем мало олова (0,26 ат. %).

На рис. 19 представлено РЭМ-изображение крупной частицы размером 118×65 мкм на поверхности торца ОЦ в месте выхода γ -квантов (*а*), в т. 24 которой был сделан РМЗА, а также ХСРИ (*б*). В табл. 9 приведен соответствующий спектру элементный состав. Как видно, эта частица состоит преимущественно из углерода (62,61 ат. %).

На рис. 20, *а* представлено РЭМ-изображение темной структуры в углублении на торце ОЦ, в месте выхода γ -квантов (*а*), в т. 25 которой был сделан РМЗА, на рис. 20, *б* — ХСРИ. В табл. 10 приведен соответствующий спектру элементный состав. Как видно, эта частица состоит преимущественно из углерода (92,53 ат. %) с присутствием марганца (0,23 ат. %) и никеля (0,12 ат. %).

На рис. 21, *а* представлено РЭМ-изображение светлых частиц в виде шариков вблизи углубления типа кратера на поверхности торца ОЦ в месте выхода γ -квантов, в т. 26 был сделан РМЗА, на рис. 21, *б* — ХСРИ одного из шариков. В табл. 11 приведен соответствующий спектру элементный состав.

Из табл. 11 можно сделать вывод, что эти шарики, размерами чуть больше одного микрона и более мелкие, состоят преимущественно из меди (19,23 вес. %). Понятно также, что они могли образоваться только при остывании расплавленной массы, состоящей из меди с примесями. Как известно, температура плавления меди составляет $T_{пл} = 1083$ °С [28].

Исследуем более подробно кратер (темное пятно неправильной формы), вблизи которого расположены медные шарики. На рис. 22, *а* представлено увеличенное изображение кратера с двумя точками — т. 27 и 28, в которых

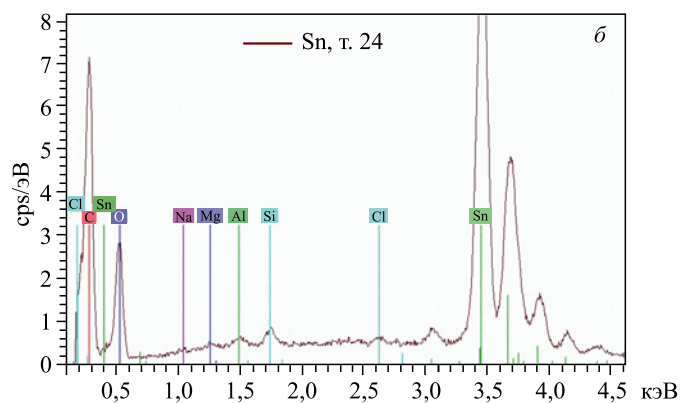
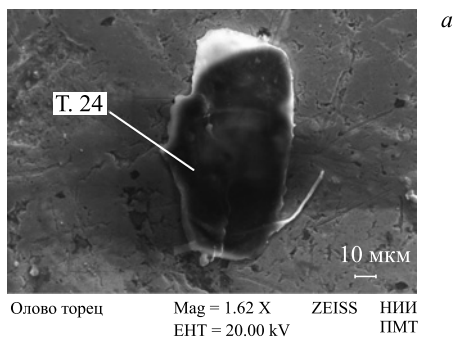


Рис. 19. РЭМ-изображение частицы на торце ОЦ (а), в т. 24 проведен РМЗА; ХСРИ (б)

Таблица 9. Элементный состав структуры на поверхности торца ОЦ в т. 24 на рис. 19, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Углерод	K	$39,21 \pm 5,03$	62,61
Кислород	K	$25,88 \pm 3,72$	31,03
Натрий	K	$0,23 \pm 0,05$	0,19
Магний	K	$0,25 \pm 0,05$	0,20
Алюминий	K	$0,33 \pm 0,05$	0,23
Кремний	K	$0,40 \pm 0,05$	0,27
Хлор	K	$0,07 \pm 0,03$	0,04
Олово	L	$33,64 \pm 1,02$	5,44

были выполнены РМЗА; один из ХСРИ приведен на рис. 22, б. В табл. 12 показан элементный состав в т. 27 и 28 на рис. 22, а.

Можно сделать вывод, что элементный состав в углублении сильно изменен, так как в т. 27 присутствуют, помимо основного элемента цилиндра —

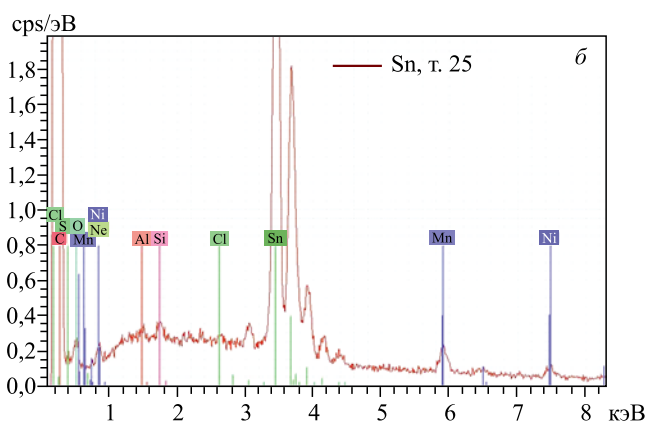
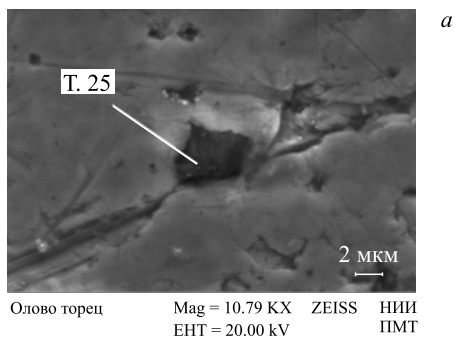


Рис. 20. РЭМ-изображение участка на торце ОЦ (а), в т. 25 которой сделан РМЗА, и ХСРП (б)

Таблица 10. Элементный состав структуры на поверхности торца ОЦ в т. 25 на рис. 20, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Углерод	K	$75,19 \pm 8,89$	92,53
Кислород	K	$5,17 \pm 1,11$	4,78
Алюминий	K	$0,01 \pm 0,03$	0,00
Кремний	K	$0,12 \pm 0,03$	0,06
Хлор	K	$0,04 \pm 0,03$	0,02
Марганец	K	$0,84 \pm 0,06$	0,23
Никель	K	$0,49 \pm 0,05$	0,12
Олово	L	$18,13 \pm 0,57$	2,26

олова (1,41 ат. %), значительные количества углерода (52,32 ат. %), кремния (36,26 ат. %), меди (1,66 ат. %) и серы (1,35 вес. %), а в т. 28 по-прежнему много кремния (11, 56 ат. %), углерода (54,00 ат. %) и азота (9,31 ат. %).

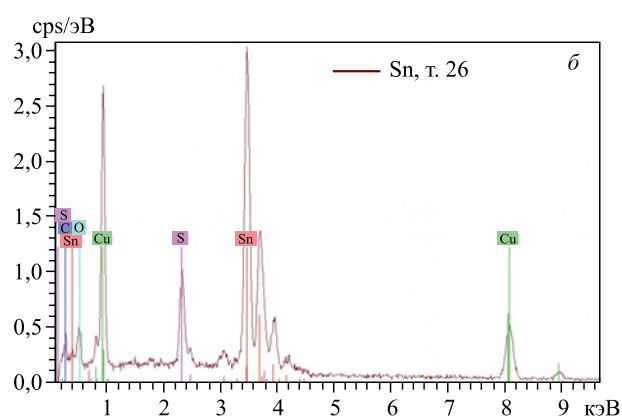
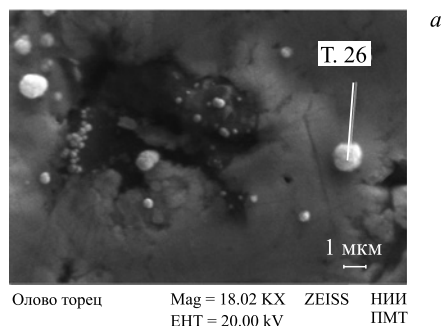


Рис. 21. РЭМ-изображение светлых частиц в виде шариков вблизи углубления типа кратера на поверхности торца ОЦ в месте выхода γ -квантов (а), в т. 26 был сделан РМЗА, и ХСРИ (б)

Таблица 11. Элементный состав структуры на поверхности торца ОЦ в т. 26 на рис. 21, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Углерод	K	$16,52 \pm 3,20$	46,11
Кислород	K	$12,39 \pm 2,28$	25,96
Алюминий	K	$0,02 \pm 0,03$	0,03
Кремний	K	$0,03 \pm 0,03$	0,03
Сера	K	$3,98 \pm 0,17$	4,17
Хлор	K	$0,06 \pm 0,03$	0,06
Медь	K	$19,23 \pm 0,58$	10,15
Олово	L	$47,76 \pm 1,38$	13,49

На рис. 23, а приведено РЭМ-изображение с плоской структурой в центре размером 461×167 мкм и двух лентообразных структур длиной более 200 мкм в правом верхнем углу, а на рис. 23, б — ХСРИ в т. 29. В табл. 13 представлен соответствующий спектру (рис. 23, б) элементный состав.

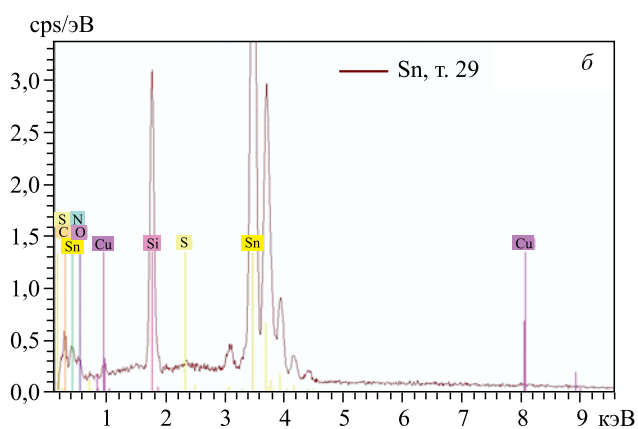
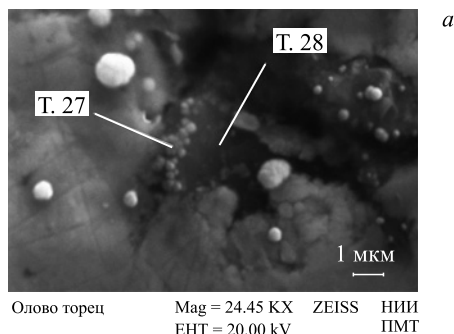


Рис. 22. РЭМ-изображение светлых частиц в виде шариков вблизи углубления типа кратера на поверхности торца ОЦ в месте выхода γ -квантов (а), в т. 27 и 28 были сделаны РМЗА, и ХСРИ (б)

Таблица 12. Элементный состав на поверхности торца ОЦ в т. 27 и 28 на рис. 22, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %		$(C \pm \Delta C)$, вес. %	
		T. 27	C, ат. %	T. 28	C, ат. %
Углерод	K	$30,38 \pm 4,95$	52,32	$16,06 \pm 2,85$	54,00
Азот	K	—	—	$3,23 \pm 0,95$	9,31
Кислород	K	$5,67 \pm 1,12$	7,33	—	—
Алюминий	K	$0,19 \pm 0,04$	0,15	$0,09 \pm 0,03$	0,13
Кремний	K	$49,22 \pm 1,85$	36,26	$8,03 \pm 0,37$	11,56
Сера	K	$1,35 \pm 0,08$	0,87	$0,19 \pm 0,04$	0,24
Хлор	K	$0,06 \pm 0,03$	0,06	—	—
Марганец	K	—	—	$0,09 \pm 0,04$	0,07
Медь	K	$5,11 \pm 0,19$	1,66	$0,27 \pm 0,05$	0,17
Олово	L	$8,09 \pm 0,26$	1,41	$71,04 \pm 2,14$	72,04

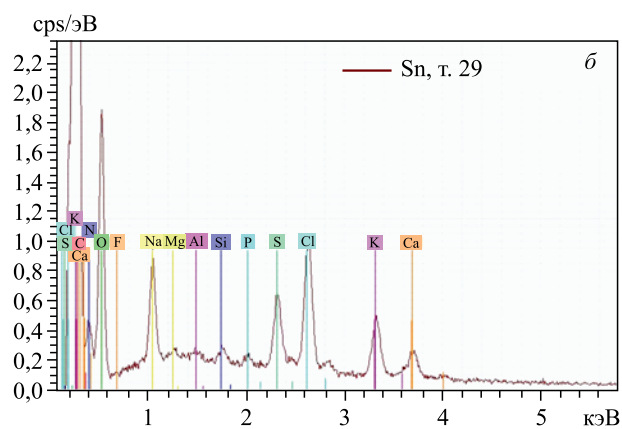
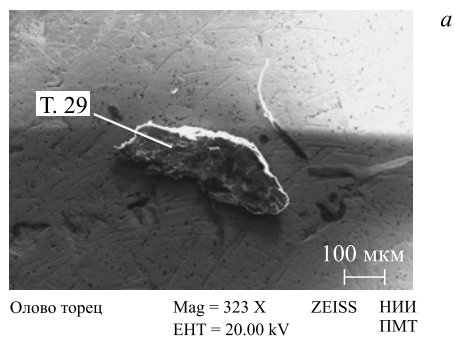


Рис. 23. РЭМ-изображение плоской структуры и двух лентообразных структур (а) и ХСРИ в т. 29 (б)

Таблица 13. Элементный состав на поверхности торца ОЦ в т. 29 на рис. 23, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Углерод	К	$55,31 \pm 6,63$	64,06
Азот	К	$5,03 \pm 1,18$	4,99
Кислород	К	$31,41 \pm 4,17$	27,31
Фтор	К	$0,29 \pm 0,14$	0,21
Натрий	К	$1,64 \pm 0,14$	0,99
Магний	К	$0,07 \pm 0,03$	0,04
Алюминий	К	$0,08 \pm 0,03$	0,04
Фосфор	К	$0,10 \pm 0,03$	0,04
Сера	К	$0,86 \pm 0,06$	0,37
Хлор	К	$2,33 \pm 0,11$	0,92
Калий	К	$1,71 \pm 0,08$	0,61
Кальций	К	$1,17 \pm 0,07$	0,41

Из таблицы видно, что данная структура имеет значительную толщину, так как в спектре не наблюдаются характеристические линии (пики) от олова. В структуре имеется много углерода (64,06 ат. %), кислорода (27,31 ат. %), натрия (1,64 вес. %), хлора (2,33 вес. %), калия (1,71 вес. %) и кальция (1,17 вес. %). Помимо этих элементов, присутствуют в химически связанных состояниях азот (4,99 ат. %) и фтор (0,21 ат. %)

Исследование боковой поверхности ОЦ. На рис. 24 приведены РЭМ-изображения торца ОЦ с торчащим стержнем на его краю высотой примерно 40 мкм (*а*) и структуры на боковой поверхности (увеличенное изображение) (*б*).

На рис. 25, *а* представлено РЭМ-изображение протяженной структуры на боковой поверхности ОЦ длиной более 100 мкм, состоящей из более мелких объектов, в т. 41 проведен РМЗА, а на рис. 25, *б* — ХСРИ. В табл. 14 приведен элементный состав в т. 41 на рис. 25, *а*.

Здесь опять, как в табл. 11 (рис. 21, *а*) и 12 (рис. 22, *а*), присутствует в значительных количествах медь ($10,35 \pm 0,34$ вес. %). Видимо, эти мелкие структуры состоят преимущественно из меди.

На рис. 26, *а* приведено РЭМ-изображение комплексов из частиц различного размера на фоне темного пятна на боковой поверхности ОЦ (*а*), в т. 42 проведен РМЗА, а на рис. 26, *б* — ХСРИ. В табл. 15 дан элементный состав в т. 42 на рис. 26, *а*.

В таблице также присутствует в значительных количествах медь (7,83 вес. %); углерод (27,96 ат. %) и кислород (54,32 ат. %). Вызывает некоторое удивление наличие такого элемента, как ${}_{73}\text{Ta}$ ($1,38 \pm 0,10$ вес. %), с $Z = 73$. Видимо, этот элемент, ранее отсутствовавший, мог образоваться в «восходящих» реакциях слияния [20–26].

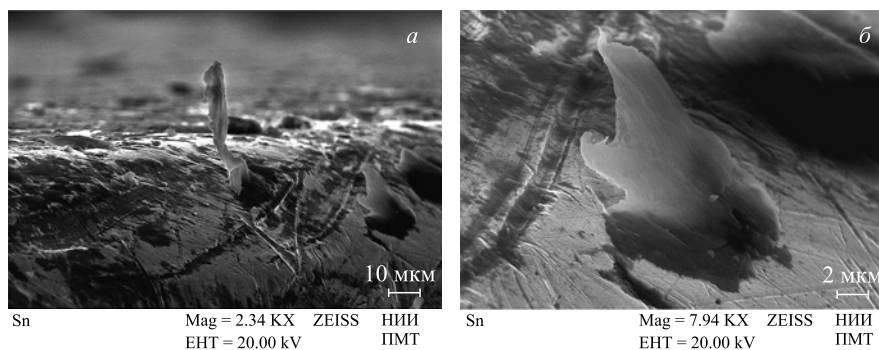


Рис. 24. РЭМ-изображение торца ОЦ с торчащим стержнем на его краю (*а*) и увеличенное изображение структуры на боковой поверхности (*б*)

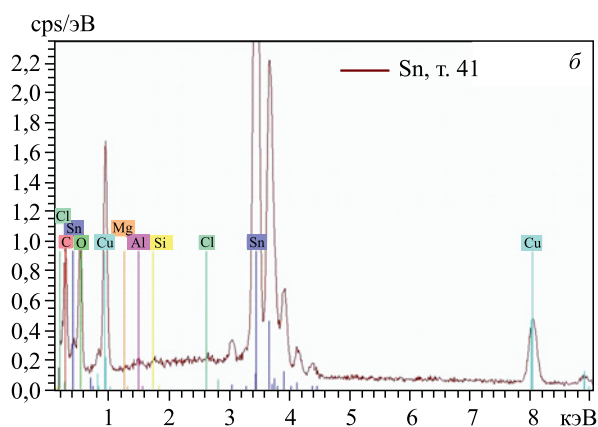
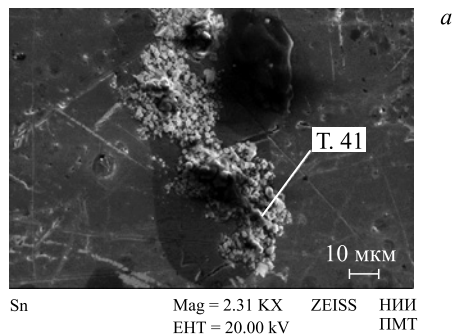


Рис. 25. РЭМ-изображение протяженной структуры на боковой поверхности ОЦ, состоящей из более мелких объектов (а), в т. 41 проведен РМЗА; ХСРИ (б)

Таблица 14. Элементный состав на поверхности торца ОЦ в т. 41 на рис. 25, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Углерод	K	$19,02 \pm 2,99$	46,11
Кислород	K	$20,10 \pm 3,06$	36,59
Магний	K	$0,05 \pm 0,03$	0,06
Алюминий	K	$0,03 \pm 0,03$	0,03
Кремний	K	$0,06 \pm 0,03$	0,06
Хлор	K	$0,08 \pm 0,03$	0,06
Медь	K	$10,35 \pm 0,34$	4,74
Олово	L	$50,31 \pm 1,55$	12,34

На рис. 27 представлено РЭМ-изображение края боковой поверхности ОЦ с черными пятнами и участком с мелкой россыпью частиц. На краю видны также мелкие выступы.

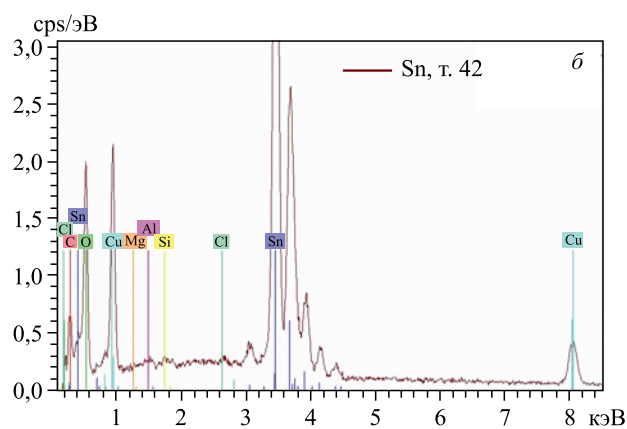
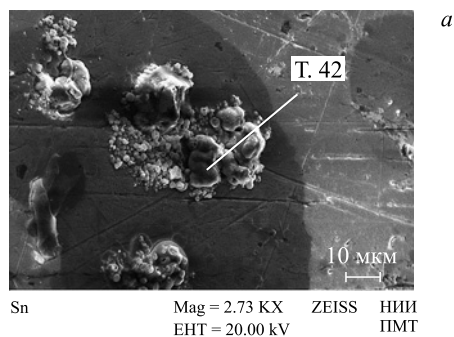


Рис. 26. РЭМ-изображение комплексов из частиц различного размера на фоне темного пятна на боковой поверхности ОЦ (а), в т. 42 проведен РМЗА; ХСРП (б)

Таблица 15. Элементный состав на поверхности торца ОЦ в т. 42 на рис. 26, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Углерод	K	$11,13 \pm 2,00$	27,96
Кислород	K	$28,81 \pm 4,14$	54,32
Магний	K	$0,42 \pm 0,06$	0,52
Алюминий	K	$0,35 \pm 0,05$	0,40
Кремний	K	$0,11 \pm 0,03$	0,12
Хлор	K	$0,07 \pm 0,03$	0,06
Медь	K	$7,83 \pm 0,27$	3,72
Олово	L	$49,89 \pm 1,53$	12,68
Тантал	L	$1,38 \pm 0,10$	0,23

На рис. 28 приведены РЭМ-изображения внешне не измененного участка боковой поверхности ОЦ (а) и частицы округлой формы диаметром примерно 2,5 мкм (б), расположенной на пленке, видимо, углеродной, которая покрыв-

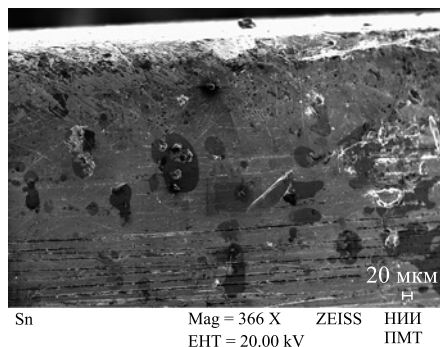


Рис. 27. РЭМ-изображение края боковой поверхности ОЦ с черными пятнами и участком с мелкой россыпью частиц. На краю видны мелкие выступы

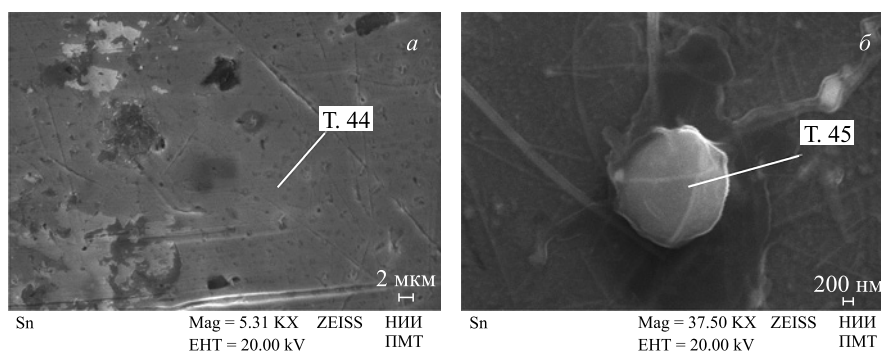


Рис. 28. РЭМ-изображения внешне не измененного участка боковой поверхности ОЦ (а) и частицы округлой формы (б), в т. 44 и 45 сделан РМЗА

Таблица 16. Элементный состав на поверхности торца ОЦ в т. 44 и 45 на рис. 28

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %		$(C \pm \Delta C)$, вес. %	
		Т. 44		Т. 45	
Углерод	К	$4,70 \pm 0,92$	26,89	$20,02 \pm 3,54$	35,18
Кислород	К	$4,76 \pm 1,02$	20,44	$40,84 \pm 6,16$	53,88
Натрий	К	—	—	$0,37 \pm 0,06$	0,34
Алюминий	К	$0,11 \pm 0,04$	0,28	$0,05 \pm 0,03$	0,04
Железо	К	—	—	$18,35 \pm 0,61$	6,93
Олово	L	$90,44 \pm 2,43$	52,39	$20,37 \pm 0,74$	3,62

вает всю поверхность олова, в т. 44 и 45 сделан РМЗА. В табл. 16 приведен соответствующий элементный состав.

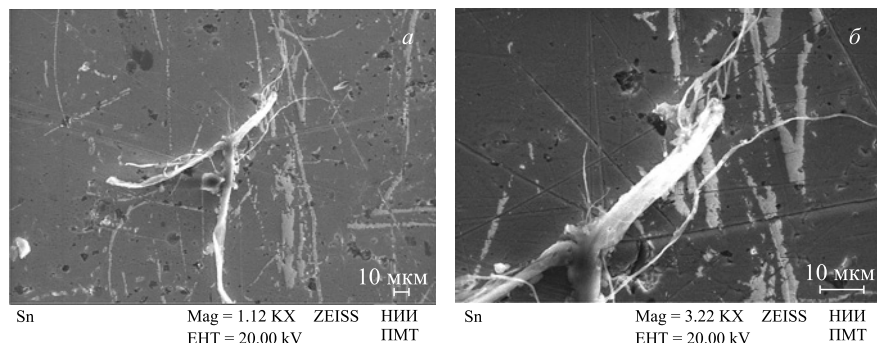


Рис. 29. РЭМ-изображения необычной структуры, обнаруженной на боковой поверхности ОЦ: *a* — при увеличении 1,12 КХ; *б* — при увеличении 3,22 КХ

Из таблицы видно, что в весовом количестве на боковой поверхности ОЦ без видимых изменений (рис. 27, *a*) присутствует преимущественно олово ($90,44 \pm 2,43$), имеются также углерод (26,89 ат. %) и кислород (20,44 ат. %). Иных элементов при данной точности измерений здесь нет. А округлая частица (рис. 27, *б*), видимо, представляет собой соединение железа ($18,35 \pm 0,61$ вес. %) с углеродом (35,18 ат. %) и кислородом (53,88 ат. %).

На рис. 29 приведена необычная структура, обнаруженная на ОЦ: *a* — при увеличении 1,12 КХ; *б* — при увеличении 3,22 КХ.

На рис. 30, *a* представлена та же структура, в т. 46 которой сделан РМЗА, а на рис. 30, *б* — ХСРИ. В табл. 17 приведен элементный состав в т. 46 на рис. 30, *a*.

Можно отметить, что данная структура состоит в основном из углерода (67,88 ат. %) при наличии натрия (1,37 ат. %); достаточно много зарегистрировано олова (8,92 ат. %), что свидетельствует о том, что этот объект имеет малую плотность или толщину.

2.3. Аномалии на внутренних поверхностях втулок из бериллиевой бронзы (ВББ).

Исследование внутренней поверхности одной половинки первой втулки (ВББ-1). На рис. 31 приведены две разветвленные структуры: одна длиной более 440 мкм (*a*), а другая — более 480 мкм (*б*), вблизи которой расположена частица размером 83×43 мкм, в т. 19 и 20 проведен РМЗА. Его результаты см. в табл. 18.

Из таблицы видно, что эти структуры состоят в основном из углерода: 85,64 ат. % (рис. 31, *a*) и 78,32 ат. % (рис. 31, *б*). Вызывает удивление наличие такого элемента, как ${}_{73}\text{Ta}$ ($2,31 \pm 0,14$ вес. %), с $Z = 73$, как и в табл. 15 (см. рис. 26, *a*, т. 42), где этот элемент также был обнаружен ($1,38 \pm 0,10$ вес. %).

На рис. 32 приведен при малом увеличении (112 X) участок поверхности ВББ-1 с множеством объектов типа трубок.

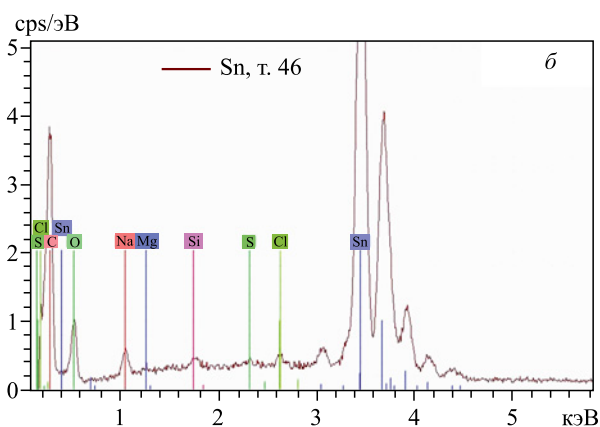
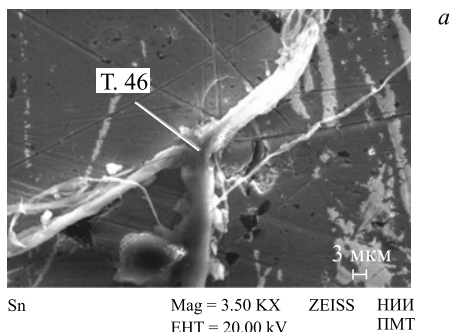


Рис. 30. РЭМ-изображение частицы (а) и ХСРИ (б)

Таблица 17. Элементный состав частицы на поверхности торца ОЦ в т. 46 на рис. 30, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Углерод	K	$36,01 \pm 5,08$	67,88
Кислород	K	$14,98 \pm 2,61$	21,20
Натрий	K	$1,39 \pm 0,13$	1,37
Магний	K	$0,17 \pm 0,04$	0,16
Кремний	K	$0,15 \pm 0,04$	0,12
Сера	K	$0,19 \pm 0,04$	0,13
Хлор	K	$0,33 \pm 0,04$	0,21
Олово	L	$46,78 \pm 1,49$	8,92

На рис. 33, а представлен объект в виде уголка со сторонами 356 и 456 мкм, в т. 21 которого сделан РМЗА, на рис. 33, б — соответствующий ХСРИ. Элементный состав в т. 21 показан в табл. 19.

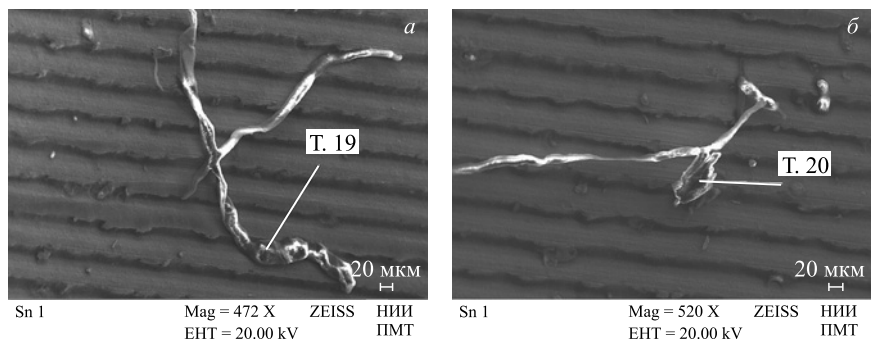


Рис. 31. РЭМ-изображения двух разветвленных структур, в т. 19 (а) и т. 20 (б) проведен РМЗА

Таблица 18. Элементный состав структур в т. 19 и 20 на рис. 31

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %		$(C \pm \Delta C)$, вес. %	
		Т. 19	C, ат. %	Т. 20	C, ат. %
Углерод	K	$63,56 \pm 6,88$	85,64	$65,95 \pm 10,30$	78,32
Кислород	K	$6,60 \pm 1,01$	6,68	$21,49 \pm 3,98$	19,16
Кремний	K	$0,19 \pm 0,04$	0,11	$0,04 \pm 0,03$	0,02
Хлор	K	—	—	$0,03 \pm 0,03$	0,01
Калий	K	—	—	$0,04 \pm 0,03$	0,01
Кальций	K	$0,15 \pm 0,03$	0,06	$0,07 \pm 0,03$	0,02
Железо	K	—	—	$0,20 \pm 0,04$	0,05
Медь	K	$29,50 \pm 0,76$	7,51	$9,87 \pm 0,41$	2,21
Тантал	L	—	—	$2,31 \pm 0,14$	0,18

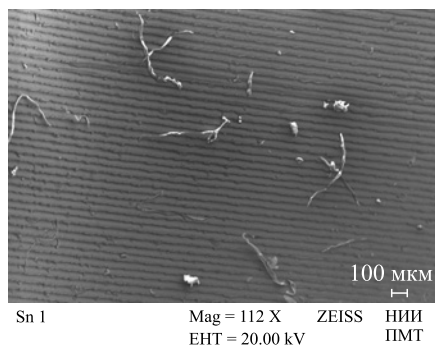


Рис. 32. РЭМ-изображение множества трубчатых объектов на поверхности ВББ-1

Здесь, как и ранее (см. табл. 14, рис. 26, а, т. 42 и табл. 17, рис. 31, б, т. 20), наблюдается значительное содержание углерода ($65,69$ ат. %), а также по-прежнему много тантала ($6,84 \pm 0,23$ вес. %).

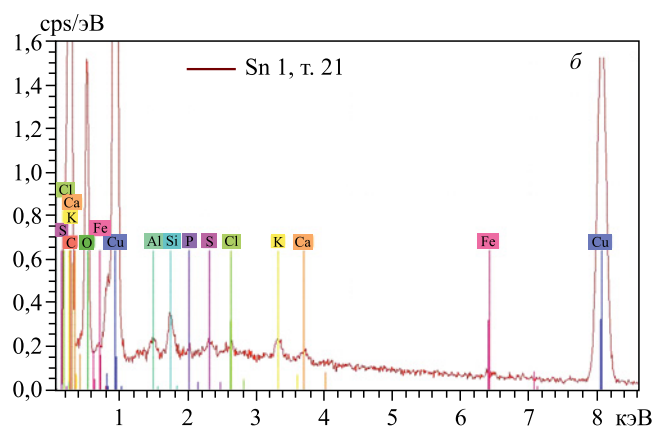
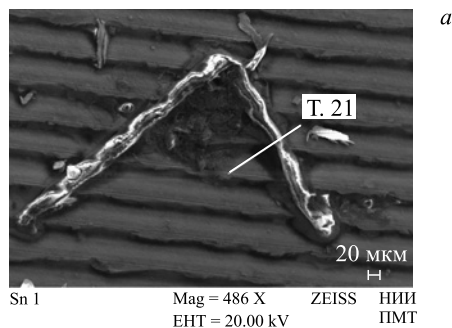


Рис. 33. РЭМ-изображение объекта в виде уголка (а) и ХСРИ в т. 21 (б)

Таблица 19. Элементный состав объекта на поверхности ВББ-1 в т. 21 на рис. 33,а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Углерод	K	$39,81 \pm 4,86$	65,69
Кислород	K	$17,95 \pm 2,35$	22,23
Алюминий	K	$0,11 \pm 0,03$	0,08
Кремний	K	$0,25 \pm 0,04$	0,17
Сера	K	$0,07 \pm 0,03$	0,04
Хлор	K	$0,05 \pm 0,03$	0,03
Калий	K	$0,32 \pm 0,04$	0,16
Кальций	K	$0,19 \pm 0,03$	0,09
Железо	K	$0,13 \pm 0,03$	0,05
Медь	K	$34,30 \pm 0,91$	10,70
Тантал	L	$6,84 \pm 0,23$	0,75

На рис. 34 приведены два РЭМ-изображения поверхности ВББ-1. На рис. 34,а она вся покрыта тонкой пленкой, видимо, из углерода со множе-

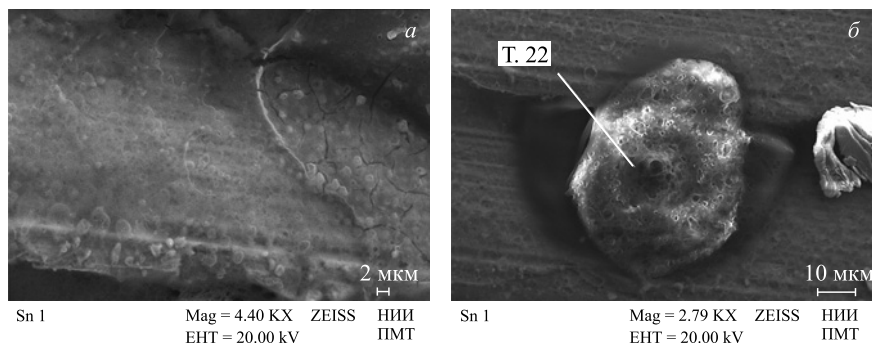


Рис. 34. РЭМ-изображения двух участков поверхности ВББ-1 со множеством мелких частиц (а) и крупная частица (б)

Таблица 20. Элементный состав частицы на поверхности торца ВББ-1 в т. 22 на рис. 34, б

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Углерод	К	$61,17 \pm 5,82$	82,19
Кислород	К	$10,47 \pm 1,38$	10,56
Кремний	К	$0,14 \pm 0,03$	0,08
Медь	К	$28,21 \pm 0,62$	7,17

ством мелких частиц размерами менее 2–3 мкм, которые присутствуют и на рис. 34, б. Помимо этого на рис. 34, б представлена крупная частица размером 52×65 мкм, покрытая мелкими кратерами, в т. 22 которой сделан РМЗА. В табл. 20 представлен элементный состав в этой точке.

Эта крупная частица состоит практически из углерода (82,19 ат. %) и водорода, который, естественно, РМЗА не регистрируется.

Исследование внутренней поверхности одной половинки второй втулки (ВББ-2). На рис. 35 приведены РЭМ-изображения: частицы сложной формы размером 96×73 мкм (а) и другой частицы размером 68×45 мкм (б) на внутренней поверхности ВББ-2, в т. 23 и 24 сделан РМЗА. Результаты представлены в табл. 21.

Как видно из таблицы, частица на рис. 35, а содержит большое количество углерода (81,18 ат. %), как и многие другие частицы на поверхности ВББ-1 (см. табл. 20, рис. 34, б, т. 22; табл. 19, рис. 33, а, т. 21; табл. 18, рис. 31, а, т. 19 и 20). Отметим наличие в ней фтора (2,13 ат. %) и кадмия (0,25 вес. %), элемента с номером $Z = 48$. В частице на рис. 35, б присутствует много углерода (87,05 ат. %) и серы ($2,09 \pm 0,10$ вес. %). Также обнаружены элементы от углерода до кальция и железо ($3,28 \pm 0,14$ вес. %).

На рис. 36, а и 37, а представлены: частица сложной формы размером 155×45 мкм и стержень длиной более 143 мкм и диаметром примерно

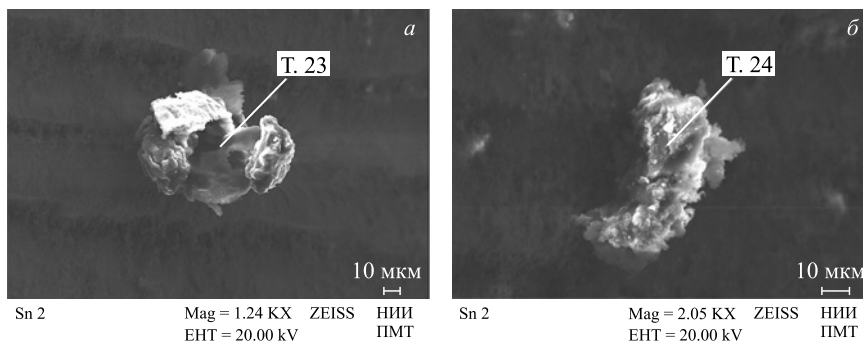


Рис. 35. РЭМ-изображения частиц сложной формы; в т. 23 и 24 проведен РМЗА

Таблица 21. Элементный состав частиц на поверхности ВББ-2 в т. 23 и 24 на рис. 35

Элемент	Серия	(C ± ΔC), вес. %		C, ат. %	
		Т. 23		Т. 24	
Углерод	К	72,61 ± 8,40	81,18	79,00 ± 9,18	87,05
Кислород	К	16,93 ± 2,46	14,21	12,76 ± 2,04	10,55
Фтор	К	3,01 ± 0,57	2,13	—	—
Натрий	К	0,73 ± 0,08	0,43	0,20 ± 0,04	0,11
Алюминий	К	0,17 ± 0,04	0,08	0,07 ± 0,03	0,04
Кремний	К	0,19 ± 0,04	0,09	0,09 ± 0,03	0,04
Фосфор	К	—	—	0,02 ± 0,03	0,01
Сера	К	2,42 ± 0,11	1,01	2,09 ± 0,10	0,86
Хлор	К	0,22 ± 0,04	0,09	0,45 ± 0,04	0,17
Калий	К	0,08 ± 0,03	0,03	—	—
Кальций	К	0,20 ± 0,03	0,07	0,39 ± 0,04	0,13
Железо	К	—	—	0,46 ± 0,05	0,11
Медь	К	1,77 ± 0,09	0,37	3,28 ± 0,14	0,68
Цинк	К	1,40 ± 0,08	0,29	1,19 ± 0,08	0,24
Кадмий	L	0,25 ± 0,04	0,03	—	—

17 мкм, а на рис. 36, б и 37, б — ХСРИ в т. 25 и 26 соответственно. В табл. 22 приведен элементный состав в т. 25 на рис. 36, а и т. 26 на рис. 37, а.

Как видно из табл. 22, внешне схожие по толщине и структуре, объекты имеют и очень близкий элементный состав, а именно: несколько меньше концентрация углерода (45,43 и 49,56 ат. %), присутствует в больших количествах фтор (14,73 и 14,91 ат. %) в химически связанном состоянии, а также кремний (1,12 и 1,10 вес. %) и сера (1,53 и 1,51 вес. %), тяжелые металлы: хром (0,56 вес. % в т. 26), железо (0,35 и 0,37 вес. %), барий (5,34 ± 0,17 и 5,35 ± 0,19 вес. %), элемент с номером Z = 56. Как и ранее (см. табл. 15,

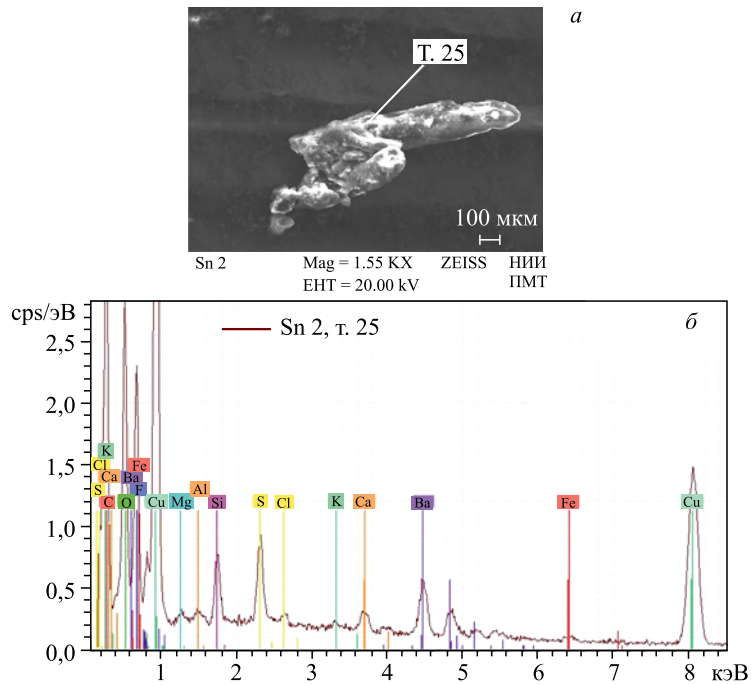


Рис. 36. РЭМ-изображение частицы сложной формы (а) и ХСРИ в т. 25 (б)

Таблица 22. Элементный состав частиц на поверхности ВББ-2 в т. 25 и 26 на рис. 36, а и рис. 37, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %		$(C \pm \Delta C)$, вес. %	
		Т. 25	C, ат. %	Т. 26	C, ат. %
Углерод	K	27,06 ± 3,43	45,43	29,53 ± 4,18	49,56
Кислород	K	21,64 ± 2,62	27,27	19,11 ± 2,69	24,08
Фтор	K	13,89 ± 1,76	14,73	14,05 ± 2,01	14,91
Магний	K	0,60 ± 0,06	0,50	0,54 ± 0,06	0,45
Алюминий	K	0,40 ± 0,05	0,30	0,30 ± 0,05	0,23
Кремний	K	1,12 ± 0,07	0,80	1,10 ± 0,08	0,79
Сера	K	1,53 ± 0,08	0,96	1,51 ± 0,09	0,95
Хлор	K	0,22 ± 0,04	0,13	0,20 ± 0,04	0,11
Калий	K	0,14 ± 0,03	0,07	0,20 ± 0,04	0,10
Кальций	K	0,59 ± 0,05	0,30	0,66 ± 0,05	0,33
Хром	K	—	—	0,56 ± 0,05	0,22
Железо	K	0,35 ± 0,04	0,13	0,37 ± 0,05	0,13
Медь	K	27,11 ± 0,71	8,60	21,36 ± 0,62	6,78
Барий	L	5,34 ± 0,17	0,78	5,35 ± 0,19	0,79
Тантал	L	—	—	5,15 ± 0,21	0,57

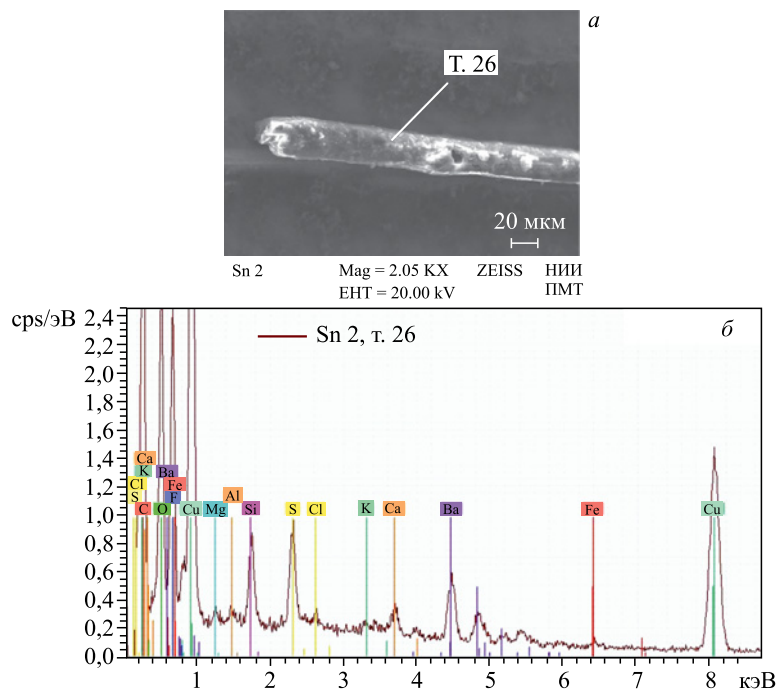


Рис. 37. РЭМ-изображение частицы в виде стержня (а) и ХСРИ в т. 26 (б)

т. 42, рис. 26, а; табл. 18, т. 20, рис. 31, б; табл. 19, т. 21, рис. 33, а), присутствует тантал ($5,15 \pm 0,21$ вес. % в т. 26) — элемент с номером $Z = 73$. Обнаружение тяжелого металла — тантала — и полуметалла — бария — может означать только то, что при их образовании протекали ядерные реакции синтеза — «восходящие» реакции.

На рис. 38, а представлено РЭМ-изображение протяженной структуры, схожей с приведенными на рис. 36, а и 37, а, длиной 483 мкм и диаметром в широкой части 15 мкм (а), а также ХСРИ в т. 27 (б). В табл. 23 приведен соответствующий элементный состав.

Несмотря на внешнюю схожесть, элементный состав протяженной структуры иной, чем в табл. 22, тем не менее здесь, помимо большого количества углерода (81,02 ат. %), присутствуют фтор (1,79 ат. %) и тантал ($1,41 \pm 0,09$ вес. %).

На рис. 39 приведены РЭМ-изображения двух (а) и одной структур (б) на внутренней поверхности ВББ-2 размерами 76 и 59 мкм на рис. 39, а и 28 мкм на рис. 39, б. В табл. 24 представлен элементный состав в т. 28 на рис. 39, а и т. 29 на рис. 39, б.

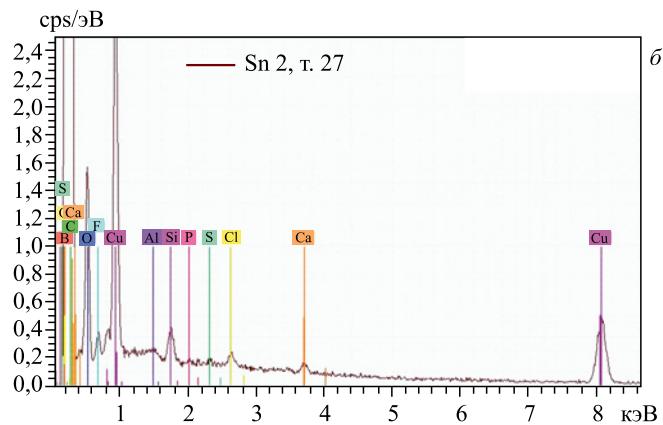
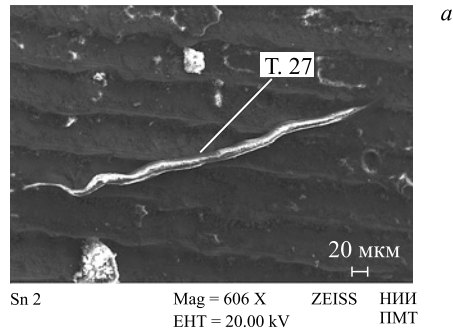


Рис. 38. РЭМ-изображение протяженной структуры (а) и ХСРИ в т. 27 (б)

Таблица 23. Элементный состав частицы на поверхности ВББ-2 в т. 26 на рис. 38, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Углерод	K	$71,31 \pm 8,16$	81,02
Кислород	K	$18,29 \pm 2,60$	15,60
Фтор	K	$2,50 \pm 0,49$	1,79
Алюминий	K	$0,01 \pm 0,03$	0,00
Кремний	K	$0,14 \pm 0,03$	0,07
Сера	K	$0,01 \pm 0,03$	0,00
Хлор	K	$0,13 \pm 0,03$	0,05
Кальций	K	$0,12 \pm 0,03$	0,04
Медь	K	$6,09 \pm 0,21$	1,31
Тантал	L	$1,41 \pm 0,09$	0,11

Как видно, в частице на рис. 39, а, т. 28, проявился бор, но рентгеновские линии бора перекрываются с линиями других элементов, поэтому не будем с уверенностью говорить о его наличии. В обеих частицах много углерода (66,20

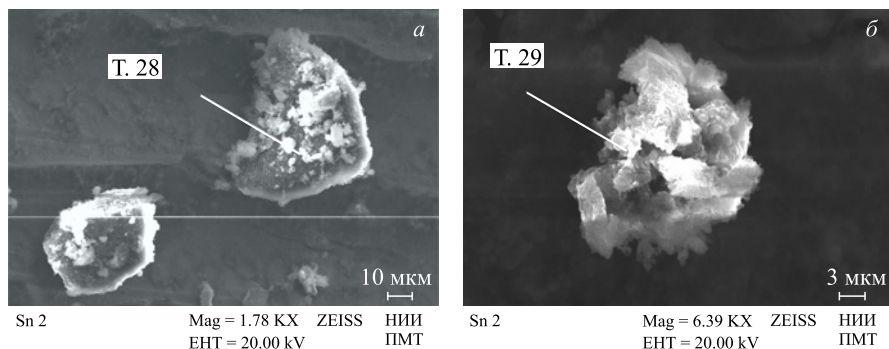


Рис. 39. РЭМ-изображения двух частиц (а) и одной частицы с огранкой (б), в т. 28 и 29 сделан РМЗА

Таблица 24. Элементный состав частиц на поверхности ВББ-2 в т. 28 и 29 на рис. 39

Элемент	Серия	Т. 28		Т. 29	
		($C \pm \Delta C$), вес. %	C, ат. %	($C \pm \Delta C$), вес. %	C, ат. %
Бор	К	27,47 ± 3,57	30,36	—	—
Углерод	К	66,55 ± 7,59	66,20	67,21 ± 9,18	80,87
Кислород	К	3,67 ± 0,58	2,74	16,05 ± 2,70	14,50
Фтор	К	0,42 ± 0,11	0,27	1,05 ± 0,31	0,80
Алюминий	К	—	—	0,13 ± 0,04	0,07
Кремний	К	0,03 ± 0,03	0,01	0,22 ± 0,04	0,11
Сера	К	0,33 ± 0,04	0,12	1,66 ± 0,10	0,75
Хлор	К	0,02 ± 0,03	0,01	0,22 ± 0,04	0,09
Кальций	К	0,04 ± 0,03	0,01	0,41 ± 0,04	0,15
Железо	К	—	—	0,15 ± 0,04	0,04
Медь	К	1,46 ± 0,07	0,27	9,52 ± 0,34	2,17
Цинк	К	—	—	1,29 ± 0,09	0,29
Олово	L	—	—	0,15 ± 0,03	0,02
Тантал	L	—	—	1,94 ± 0,12	0,16

и 80,87 ат. %), присутствует фтор (0,27 и 0,80 ат. %), а в частице на рис. 39, б в т. 29 помимо значительного количества серы ($1,66 \pm 0,10$ вес. %) обнаружены тяжелые металлы: железо ($0,15 \pm 0,04$ вес. %), цинк ($1,29 \pm 0,09$ вес. %), олово ($0,15 \pm 0,03$ вес. %) и опять же тантал ($1,94 \pm 0,12$ вес. %).

На рис. 40, а приведено несколько частиц на поверхности ВББ-2 (а), в самой крупной из которых длиной 27 мкм в т. 30 проведен РМЗА, на рис. 40, б — ХСРИ. В табл. 25 представлен элементный состав этой частицы.

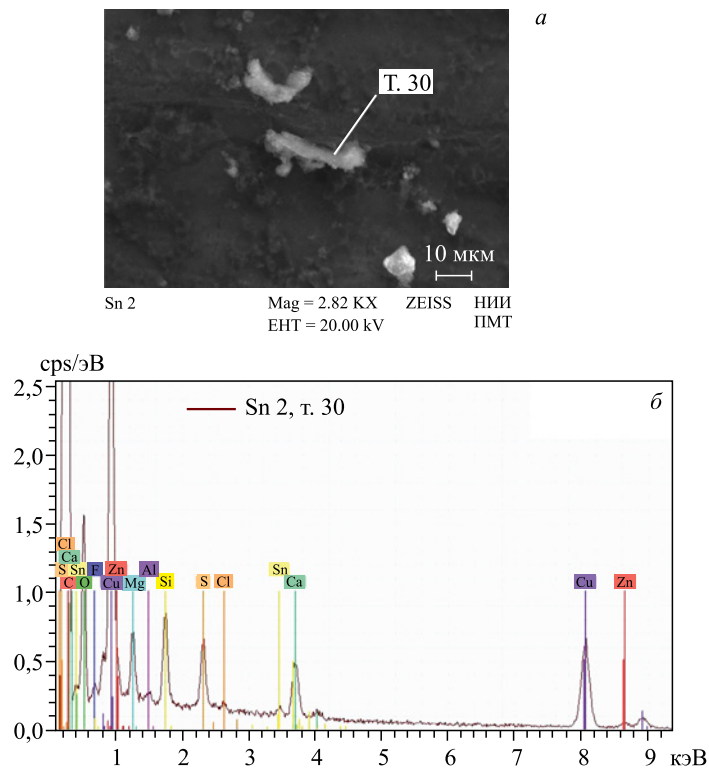


Рис. 40. РЭМ-изображение частиц (а) и ХСРИ в т. 30 (б)

Таблица 25. Элементный состав частицы на поверхности ВББ-2 в т. 30 на рис. 40, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	К	$66,65 \pm 10,33$	78,51
Кислород	К	$18,06 \pm 3,39$	15,97
Фтор	К	$2,51 \pm 0,64$	1,87
Магний	К	$0,93 \pm 0,10$	0,54
Алюминий	К	$0,13 \pm 0,04$	0,07
Кремний	К	$0,68 \pm 0,07$	0,34
Сера	К	$0,63 \pm 0,06$	0,28
Хлор	К	$0,06 \pm 0,03$	0,02
Кальций	К	$0,88 \pm 0,07$	0,31
Медь	К	$8,77 \pm 0,36$	1,95
Цинк	К	$0,52 \pm 0,06$	0,11
Олово	Л	$0,18 \pm 0,04$	0,02

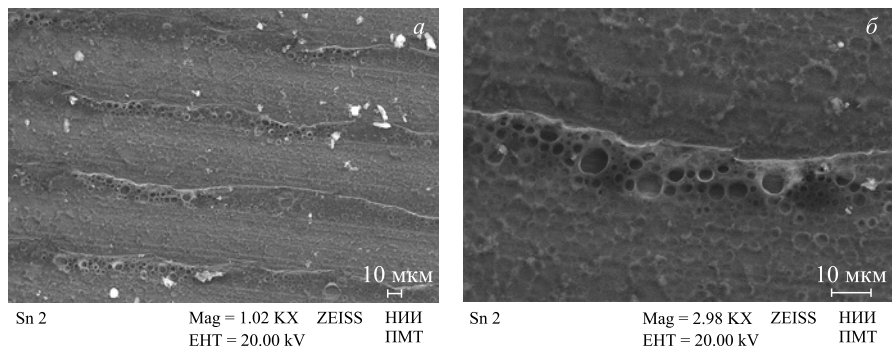


Рис. 41. РЭМ-изображения двух участков поверхности ВББ-2, покрытых пленкой с круглыми впадинами

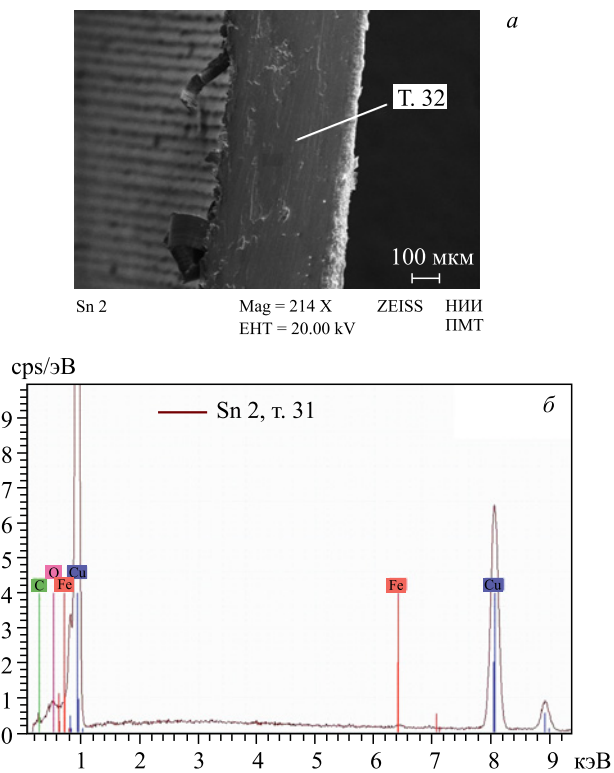


Рис. 42. РЭМ-изображение в месте раскола второй втулки (а) и ХСРИ в т. 32 (б)

Из таблицы видно, что в крупной частице содержится много углерода (78,51 ат. %), а также фтор (1,87 ат. %), магний (0,54 ат. %), цинк

($0,52 \pm 0,06$ вес. %). Наличие на поверхности ВББ-2 олова означает, что в ядерных реакциях в ОЦ происходили процессы испарения или распыления олова.

На рис. 41 приведены для иллюстрации РЭМ-изображения двух участков поверхности ВББ-2, покрытых видимой тонкой пленкой с круглыми впадинами, особенно хорошо различимыми на рис. 41, б, покрывающими области с рельефом от механической проточки второй втулки (см. рис. 1, правая половина, поз. 4).

На рис. 42 представлено РЭМ-изображение в месте распила ВББ-2 с РМЗА в т. 32 (а), а также ХСРИ (б). В табл. 26 приведен элементный состав в этой точке.

Таблица 26. Элементный состав частицы на поверхности ВББ-2 в т. 30 на рис. 42, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	К	$7,42 \pm 1,41$	27,12
Кислород	К	$4,31 \pm 0,72$	11,84
Железо	К	$0,28 \pm 0,04$	0,22
Медь	К	$87,99 \pm 2,14$	60,82

Из таблицы трудно сказать, как изменилось распределение элементов в ВББ-2 после облучения γ -квантами, но видно, что примесей не наблюдается. Железо, как и углерод, возможно, осталось после механической резки втулки фрезой.

2.4. Аномалии на поверхности сборника продуктов реакций из бериллиевой бронзы. На рис. 43 представлено РЭМ-изображение центральной части сборника продуктов реакций (СПР) из бериллиевой бронзы (см. рис. 1, поз. 3). Как видно, в центре СПР присутствует темное пятно, состоящее из множества более мелких объектов.

На рис. 44, а показано РЭМ-изображение центральной части СПР с большим увеличением 347 X, в одной из крупных частиц проведен РМЗА в т. 32, на рис. 44, б — ХСРИ. Частицы на поверхности СПР имеют вид как бы привнесенных с ближнего торца ОЦ, которые были вначале в расплавленном состоянии, а затем остыли и приняли округлые формы. В табл. 27 приведен элементный состав в т. 32.

С помощью РМЗА видно, что в частице наряду с по-прежнему большой концентрацией углерода (42,64 ат. %) увеличилась концентрация кислорода (39,72 ат. %), присутствуют в значительных количествах натрий ($5,05 \pm 0,31$ вес. %), хлор ($3,68 \pm 0,13$ вес. %) и калий ($2,01 \pm 0,08$ вес. %), а также образовались тяжелые металлы: железо ($2,91 \pm 0,10$ вес. %) и цинк ($1,22 \pm 0,08$ вес. %).

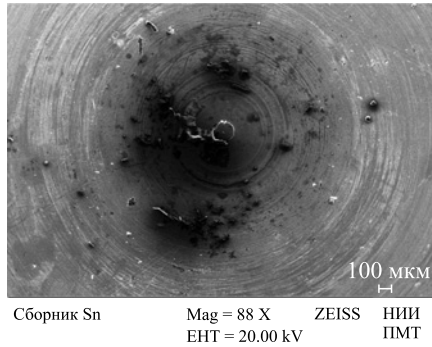


Рис. 43. РЭМ-изображение центральной части СПР из бериллиевой бронзы (увеличение 88 X)

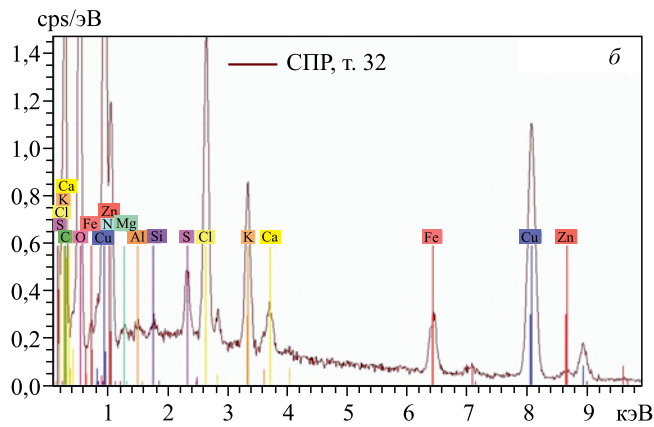
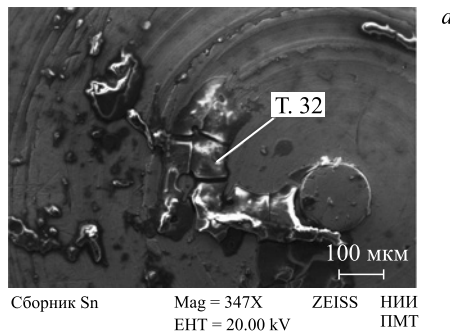
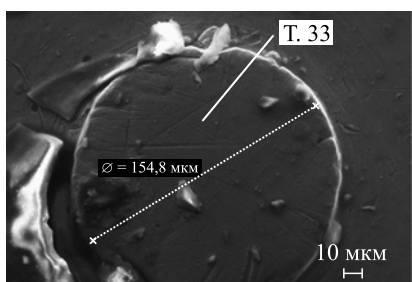


Рис. 44. РЭМ-изображение центральной части СПР, в одной из крупных частиц проведен РМЗА в т. 32 (а), и ХСРИ (б)

На рис. 45, а представлено РЭМ-изображение центрального выступа на СПР диаметром 154,8 мкм, в центре которого нет видимых изменений, в т. 33

Таблица 27. Элементный состав частицы на поверхности СПР в т. 32 на рис. 44, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	К	$26,19 \pm 3,23$	42,64
Кислород	К	$32,50 \pm 3,56$	39,72
Натрий	К	$5,05 \pm 0,31$	4,30
Магний	К	$0,53 \pm 0,06$	0,42
Алюминий	К	$0,28 \pm 0,04$	0,20
Кремний	К	$0,17 \pm 0,03$	0,12
Сера	К	$0,70 \pm 0,05$	0,43
Хлор	К	$3,68 \pm 0,13$	2,03
Калий	К	$2,01 \pm 0,08$	1,00
Кальций	К	$0,68 \pm 0,05$	0,33
Железо	К	$2,91 \pm 0,10$	1,02
Медь	К	$24,09 \pm 0,59$	7,41
Цинк	К	$1,22 \pm 0,08$	0,36



Сборник Sn Mag = 1.33 KX ZEISS НИИ
ЕHT = 20.00 kV ПМТ

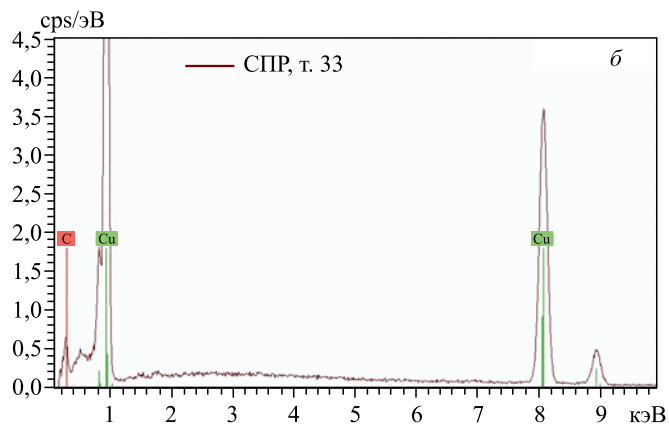


Рис. 45. РЭМ-изображение центральной части СПР без видимых изменений (а) с ХСРИ в т. 33 (б)

Таблица 28. Элементный состав частицы на поверхности СПР в т. 33 на рис. 45, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	К	$15,31 \pm 2,63$	45,38
Кислород	К	$4,23 \pm 0,80$	9,40
Алюминий	К	$0,07 \pm 0,03$	0,10
Кремний	К	$0,13 \pm 0,04$	0,17
Медь	К	$80,26 \pm 2,18$	44,96

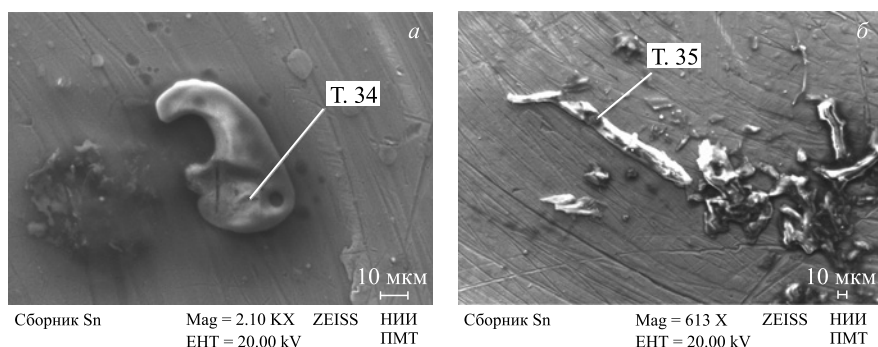


Рис. 46. РЭМ-изображения одной частицы (а) и комплекса частиц (б) с РМЗА в т. 34 и 35

Таблица 29. Элементный состав частиц на поверхности СПР в т. 34 и 35 на рис. 46

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %		C , ат. %	
		Т. 34	Т. 35	Т. 34	Т. 35
Углерод	К	$18,98 \pm 2,52$	$29,37 \pm 3,63$	39,30	52,75
Кислород	К	$19,56 \pm 2,27$	$22,78 \pm 2,70$	30,42	30,72
Натрий	К	$5,86 \pm 0,36$	—	6,34	—
Магний	К	$0,48 \pm 0,06$	$0,04 \pm 0,03$	0,49	0,03
Алюминий	К	$0,26 \pm 0,04$	$0,06 \pm 0,03$	0,24	0,05
Кремний	К	$0,04 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,03$	0,04	0,06
Фосфор	К	$0,16 \pm 0,03$	—	0,13	—
Сера	К	$0,59 \pm 0,05$	$0,25 \pm 0,04$	0,45	0,17
Хлор	К	$2,60 \pm 0,10$	$0,20 \pm 0,03$	1,82	0,12
Калий	К	$1,55 \pm 0,07$	$0,11 \pm 0,03$	0,99	0,06
Кальций	К	$0,63 \pm 0,05$	$0,10 \pm 0,03$	0,39	0,05
Железо	К	$1,69 \pm 0,07$	$0,32 \pm 0,04$	0,75	0,13
Кобальт	К	—	$0,04 \pm 0,03$	—	0,01
Медь	К	$47,59 \pm 1,12$	$46,65 \pm 1,14$	18,63	15,84

сделан РМЗА; на рис. 45, б — ХСРИ. Получена оценка концентраций элементов на пленке, покрывающей СПР (табл. 28). Отметим высокое содержание углерода (45,38 ат.%) в пленке, покрывающей центральную часть СПР.

На рис. 46 представлены РЭМ-изображения: одной частицы странной формы (а) и комплекса частиц (б), в т. 34 и 35 которых проведен РМЗА. В табл. 29 приведен соответствующий элементный состав.

По результатам РМЗА видно, что в частице (рис. 46, а), при больших концентрациях углерода (39,30 ат.%) и кислорода (30,42 ат.%), присутствуют в значительных количествах натрий ($5,86 \pm 0,36$ вес.%), хлор ($2,60 \pm 0,10$ вес.%) и калий ($1,55 \pm 0,07$ вес.%), а также образовалось железо ($1,69 \pm 0,07$ вес.%).

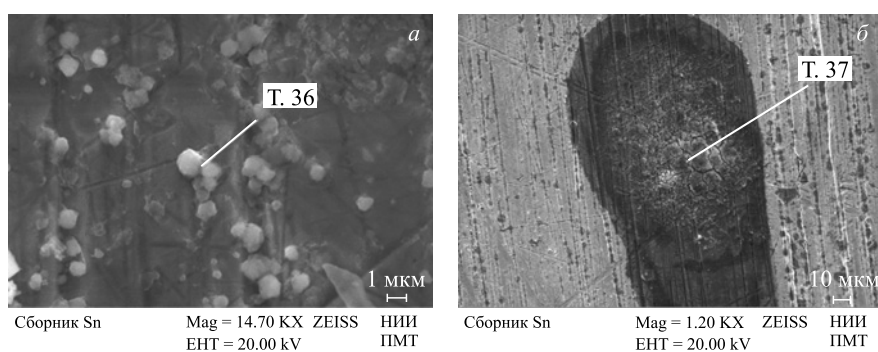


Рис. 47. РЭМ-изображения множественных частиц округлой формы (а) и области темного пятна (б) на поверхности СПР, в т. 36 и 37 проведен РМЗА

Таблица 30. Элементный состав частицы на поверхности СПР в т. 36 (рис. 47, а) и в области темного пятна в т. 37 (рис. 47, б)

Элемент	Серия	(C ± ΔC), вес. %		(C ± ΔC), вес. %	
		T. 36	C, ат. %	T. 37	C, ат. %
Бор	К	10,56 ± 2,74	26,99	—	—
Углерод	К	1,28 ± 0,41	2,95	11,01 ± 2,13	32,41
Кислород	К	23,83 ± 2,69	41,15	10,78 ± 1,69	23,83
Алюминий	К	0,16 ± 0,04	0,16	0,13 ± 0,04	0,17
Кремний	К	0,08 ± 0,03	0,07	0,07 ± 0,03	0,09
Хлор	К	—	—	0,10 ± 0,03	0,10
Калий	К	0,15 ± 0,03	0,11	0,07 ± 0,03	0,07
Кальций	К	0,25 ± 0,04	0,17	—	—
Железо	К	11,95 ± 0,32	5,91	—	—
Кобальт	К	—	—	0,16 ± 0,04	0,10
Медь	К	51,74 ± 1,26	22,49	77,67 ± 2,14	43,22

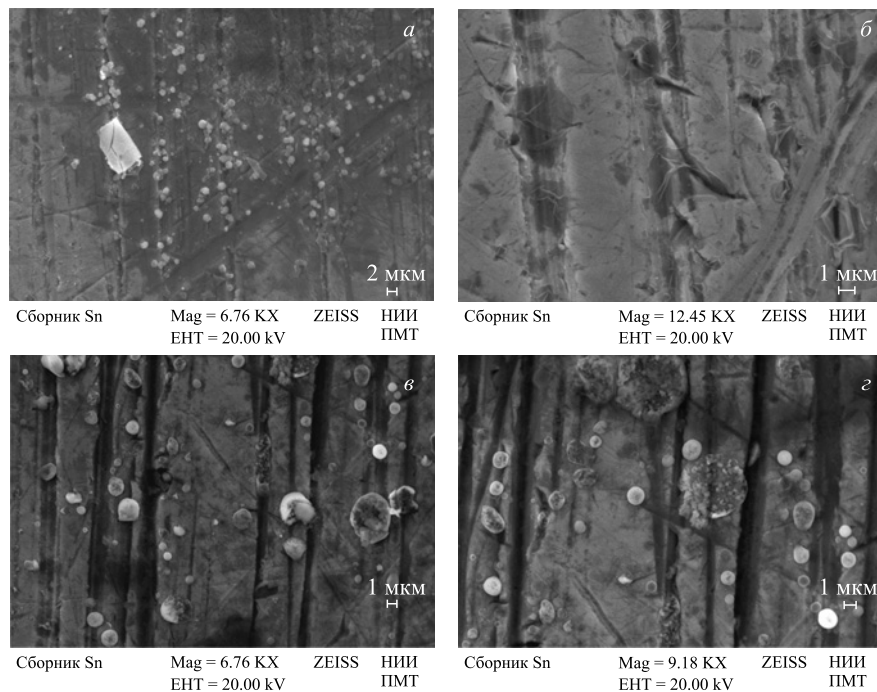


Рис. 48. РЭМ-изображения участков поверхности СПР с частицами и без них, с различным рельефом

На рис. 47 представлены РЭМ-изображения множественных частиц округлой формы (а) и области темного пятна (б) на поверхности СПР, в т. 36 и 37 сделан РМЗА. В табл. 30 приведены его результаты.

Из таблицы видно, что в частице или группе частиц размерами 1 мкм и менее присутствуют значительные концентрации бора* (26,99 ат. %) , кислорода (41,15 ат. %) и железа ($11,95 \pm 0,32$ вес. %) при малой концентрации углерода (2,95 ат. %). При измерении ХСРИ область возбуждения рентгеновского излучения с поверхности значительно больше, чем 1 мкм, поэтому сигналы регистрируются не только от самой частицы, но и от окружающей поверхности.

На рис. 48, а–г представлены для иллюстрации РЭМ-изображения участков поверхности СПР с частицами и без них, с различным рельефом.

*Как и на рис. 39, а, т. 28, проявился бор, но в ХСРИ линии бора перекрываются с линиями других элементов. Элементный состав в области темного пятна сильно изменен: имеются значительные концентрации углерода (32,41 ат. %) и кислорода (23,83 ат. %), а также алюминий (0,17 ат. %), кремний (0,09 ат. %), хлор (0,10 ат. %), калий (0,07 ат. %) и кобальт ($0,16 \pm 0,04$).

Проанализируем состав округлых частиц малого размера. РЭМ-изображение одной из таких частиц приведено в увеличенном масштабе (увеличение 39,88 КХ) (рис. 49, *а*). На рис. 49, *б* показан комплекс похожих частиц; в т. 38 и 39 проведен РМЗА. В табл. 31 см. соответствующий элементный состав в этих точках.

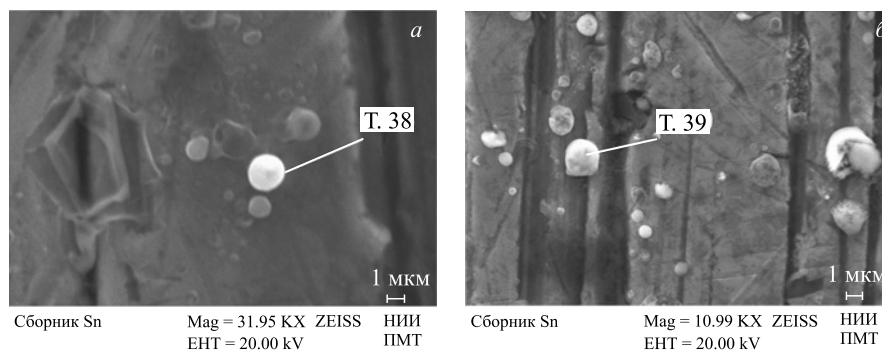


Рис. 49. РЭМ-изображения одной из частиц (*а*) и комплекса частиц (*б*), в т. 38 и 39 сделан РМЗА

Таблица 31. Элементный состав частиц на поверхности СПР в т. 38 и 39 на рис. 49

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
		Т. 38		Т. 39	
Углерод	К	$9,43 \pm 1,93$	24,91	$2,38 \pm 0,53$	7,19
Кислород	К	$19,84 \pm 2,83$	39,34	$21,28 \pm 2,82$	48,32
Алюминий	К	$0,17 \pm 0,04$	0,20	—	—
Кремний	К	$0,11 \pm 0,04$	0,13	$0,37 \pm 0,06$	0,48
Хлор	К	$0,60 \pm 0,05$	0,54	$0,90 \pm 0,09$	0,92
Калий	К	$0,09 \pm 0,03$	0,07	$0,46 \pm 0,08$	0,43
Кобальт	К	$0,19 \pm 0,04$	0,10	—	—
Медь	К	$69,56 \pm 1,95$	34,72	$74,62 \pm 8,95$	42,67

Как видно из таблицы, частицы содержат кислород (39,34 и 48,32 ат. %), относительно немного углерода (24,91 и 7,19 ат. %) и много меди ($69,56 \pm 1,95$ и $74,62 \pm 8,95$ вес. %). Отсюда можно сделать вывод, что эти округлой формы маленькие частицы (шарики) состоят, скорее всего, из оксида меди (CuO). Такие же шарики были обнаружены вблизи кратеров на поверхности ОЦ (см. табл. 11, рис. 21, *а* и т. 26; табл. 12, рис. 22, *а*, т. 27 и 28; табл. 14, рис. 25, *а*, т. 41).

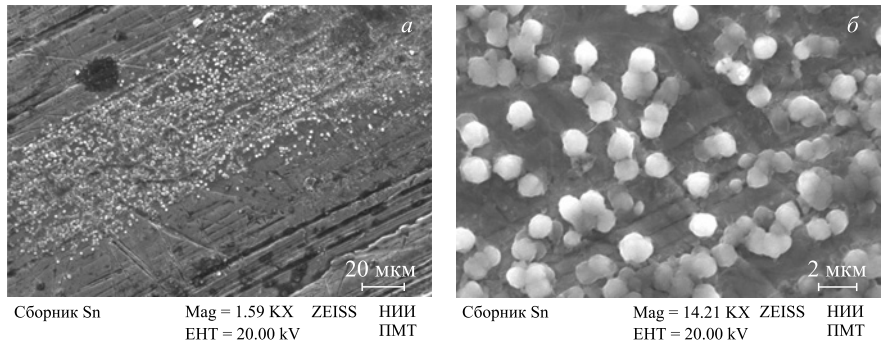


Рис. 50. РЭМ-изображения структуры в виде полосы, состоящей из мелких частиц с гранями: при увеличении 1,59 КХ (а) и 14,21 КХ (б)

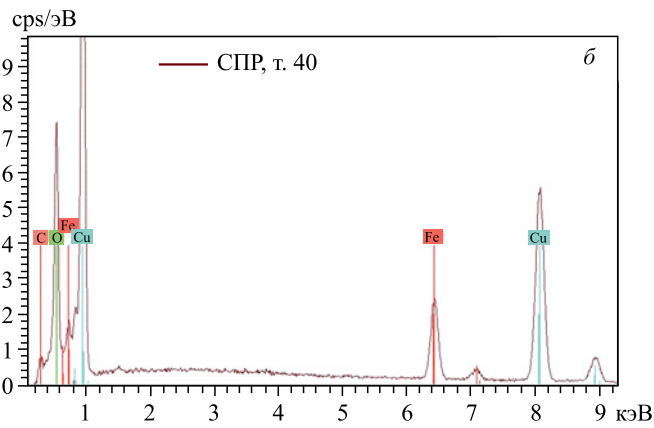
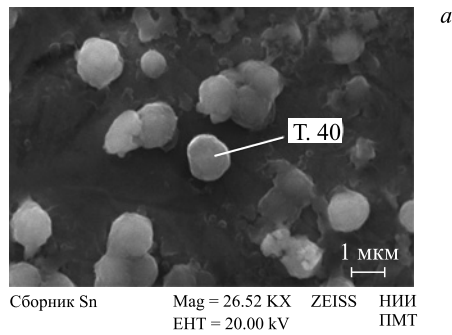


Рис. 51. РЭМ-изображения частиц (а) и ХСРИ в т. 40 (б)

Еще более впечатляющая структура была обнаружена также на поверхности СПР в виде полосы, состоящей из мелких частиц уже не округлой формы, а с гранями (см. рис. 50, а, б) при различных увеличениях (1,59 и 14,21 КХ).

Таблица 32. Элементный состав частицы в т. 40 на рис. 51, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	К	$4,62 \pm 0,94$	12,53
Кислород	К	$24,71 \pm 2,88$	50,28
Алюминий	К	$0,22 \pm 0,04$	0,27
Кремний	К	$0,01 \pm 0,03$	0,01
Кальций	К	$0,09 \pm 0,03$	0,07
Железо	К	$11,49 \pm 0,32$	6,70
Медь	К	$58,86 \pm 1,47$	30,16

На рис. 51 представлены: РЭМ-изображение комплекса частиц размерами порядка 1 мкм (а) и ХСРИ в т. 40, измеренный с помощью РМЗА на одной из частиц (б). Как видно, эти частицы имеют огранку, т. е. это микрокристаллиты из железа. На рис. 51, б в ХСРИ присутствуют отчетливые пики от железа. В табл. 32 представлен элементный состав в т. 40 на рис. 51, а.

Как видно из таблицы, частицы содержат кислород (50,28 ат. %), относительно мало углерода (12,53 ат. %), а меди ($58,86 \pm 1,47$ вес. %) меньше, чем в табл. 31 ($69,56 \pm 1,95$ и $74,62 \pm 8,95$ вес. %). Также в них найдено достаточное количество железа ($11,49 \pm 0,32$ вес. %). Область рентгеновского возбуждения и излучений значительно больше 1 мкм, поэтому концентрация железа в микрокристаллитах значительно выше, чем приведено в табл. 31. Из этих данных можно сделать вывод, что эти маленькие частицы состоят, скорее всего, из железа или его оксидов (FeO или Fe₂O₃).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Проведенные исследования образовавшихся продуктов реакций и структур в ННРС с ОЦ внутри позволяют сделать вывод, что замена палладия (см. [1–13]) привела к образованию частиц, а именно шариков из меди и микрокристаллитов железа. В работах [1–6] было показано, что на сборнике продуктов реакций образовался объект в виде усеченного конуса с преобладанием в его составе титана. При снижении давления дейтерия до 1,2 кбар на сборнике продуктов были обнаружены шарики и другие структуры на основе свинца [7, 8, 13].

На сборнике в описанном выше эксперименте помимо прочего обнаружены россыпи микрокристаллитов из железа. При вскрытии ННРС из нее высыпалось до 30 частиц размерами около 1 мм и менее, результаты детальных исследований которых будут представлены в следующей работе вместе с комплексом ядерных реакций для описания обнаруженного элементного многообразия.

Авторы выражают признательность сотрудникам группы микротрона МТ-25 А. Г. Белову и В. А. Семину за проведение облучения гамма-квантами и А. И. Гайдар за проведение РМЗА.

ЛИТЕРАТУРА

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 γ -Quanta in Dense Molecular Deuterium at 1.2 kbar Pressure // *Eur. Phys. Lett.* 2013. V. 103. P. 42002-P1–42002-P6.
3. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Chemical Composition and Structural Phase Changes of Novel Synthesized Structure and of Pd Sample under γ -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 γ -квантами // *Физика и химия обработки материалов.* 2012. №5. С. 5–13; Препринт ОИЯИ Р15-2012-50. Дубна, 2012.
5. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R., Wilczynska-Kitowska T.* Deuteron Disintegration, Thermonuclear and Nuclear Fission Reactions Induced by γ -Quanta in D-Saturated Palladium and Dense Deuterium Gas with Synthesis of New Structures // *Journal of 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 γ Quanta // *Inorganic Materials: Applied Research.* 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 γ -Quanta in Dense Deuterium Gas // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2013. V. 10, No. 7. P. 804–819; Препринт ОИЯИ Р15-2013-15. Дубна, 2013. 34 с.
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 γ -Quanta in Dense Deuterium Gas // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2013. V. 10, No. 7. P. 820–832; Препринт ОИЯИ Р15-2013-20. Дубна, 2013. 29 с.
9. *Дидык А. Ю., Вишневецкий П.* Ядерные реакции в насыщенном дейтерием палладии и рении в атмосфере плотного дейтерия при облучении γ -квантами непрерывного спектра с граничной энергией 23 МэВ // *Письма в ЭЧАЯ.* 2013. Т. 10, №4(181). С. 603–621; Препринт ОИЯИ Р15-2012-63. 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. *Wiśniewski R., Didyk A. Yu., Wilczynska-Kitowska T.* Deuteron Disintegration, Thermonuclear and Nuclear Fission Reactions Induced by γ -Quanta in D-Saturated Palladium and Dense Deuterium Gas with Synthesis of New Structures // *Journal of Surface Investigation. X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques*. 2013. V. 7, No. 2. P. 239–247.
12. *Дидык А. Ю., Вишневецкий П.* Синтез структур на основе углерода в ядерных реакциях под действием тормозных γ -квантов с пороговой энергией 10 МэВ в спектрально чистом гелии при давлении 1,1 кбар // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. 2015 (направлено).
13. *Didyk A. Yu. et al.* Changes in the Chemical Composition of Nuclear Reaction Products Irradiated with 10-MeV γ -Quanta in Deuterium Saturated Palladium // *Journal of Surface Investigation. X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques*. 2014. V. 8, No. 6. P. 1100–1112.
14. *Дидык А. Ю., Вишневецкий П.* Ядерные реакции синтеза и деления химических элементов и образование новых структур в плотных газах: H_2 , D_2 и He при облучении 10-МэВ γ -квантами // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. 2015 (направлено).
15. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* The Study of Changes in the Element Compositions of Pd and Re Specimens Irradiated in Dense Gaseous Deuterium by γ -Quanta with Boundary Energy up to 23 MeV // *Journal of Physical Science and Application*. 2013. V. 3, No. 4. P. 209–217.
16. *Дидык А. Ю., Вишневецкий П.* Изменения поверхности, объемных свойств образцов ванадия и нержавеющей стали, облученных в плотном газообразном дейтерии γ -квантами с пороговой энергией 23 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2012-75. Дубна, 2012.
17. *Дидык А. Ю., Вишневецкий П.* Результаты по облучению алюминия и гомогенного сплава YMn_2 γ -квантами с энергией 23 МэВ в атмосфере молекулярного дейтерия при давлении 2 кбар. Препринт ОИЯИ Р15-2013-41. Дубна, 2013; Письма в ЭЧАЯ. 2014. Т. 11, № 3(187). С. 284–298.
18. *Дидык А. Ю., Вишневецкий П.* Результаты по облучению нержавеющей стали и меди γ -квантами с энергией 23 МэВ в атмосфере молекулярного дейтерия при давлении 2 кбар. Препринт ОИЯИ Р15-2013-42. Дубна, 2013; *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2014. V. 5, No. 3. P. 309–328.
19. *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; Препринт ОИЯИ Р15-2013-80. Дубна, 2013.
20. *Дидык А. Ю., Вишневецкий П.* Синтез новых структур на поверхности Pd-стержня и элементов ННРС и их химический состав при ядерных реакциях под действием тормозных γ -квантов с пороговой энергией 10 МэВ в молекулярном водороде при давлении 0,5 кбар. Препринт ОИЯИ Р15-2014-6. Дубна, 2014; Письма в ЭЧАЯ. 2015 (направлено).
21. *Дидык А. Ю., Вишневецкий П.* Химический состав и структура синтезированных частиц на поверхности ННРС при ядерных реакциях при облучении тормозными

- γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ в молекулярном водороде при давлении 0,5 кбар. Препринт ОИЯИ Р15-2014-7. Дубна, 2014; Письма в ЭЧАЯ. 2015 (направлено).
22. Дидык А. Ю., Вишнеvский Р. Синтез микрочастиц в молекулярном водороде при давлении 1 кбар в ядерных реакциях под действием тормозных γ -квантов с пороговой энергией 10 МэВ. Химический состав и структуры на внутренних поверхностях компонентов камеры высокого давления. Препринт ОИЯИ Р15-2014-2. Дубна, 2014;
Дидык А. Ю., Вишнеvский Р. Синтез микрочастиц в водороде (1 кбар) под действием тормозных γ -квантов (10 МэВ) на внутренних поверхностях компонентов камеры высокого давления // Письма в ЭЧАЯ. 2015. Т. 12, № 1(192). С. 171–198.
 23. Дидык А. Ю., Вишнеvский Р. Синтез микрочастиц в молекулярном водороде при давлении 1 кбар в ядерных реакциях под действием тормозных γ -квантов с пороговой энергией 10 МэВ. Химический состав синтезированных частиц и структур на поверхности реакционной камеры. Препринт ОИЯИ Р15-2014-3. Дубна, 2014;
Дидык А. Ю., Вишнеvский Р. Синтез микрочастиц в водороде (1 кбар) под действием тормозных γ -квантов (10 МэВ) в реакционной камере // Письма в ЭЧАЯ. 2015. Т. 12, № 1(192). С. 199–230.
 24. Дидык А. Ю., Вишнеvский Р. Свойства структур на основе углерода, синтезированных в ядерных реакциях в гелии при давлении 1,1 кбар под действием облучения тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2014-38. Дубна, 2014; Письма в ЭЧАЯ. 2015 (направлено).
 25. Дидык А. Ю., Вишнеvский Р. Ядерные реакции, синтез химических элементов и новых структур в плотном гелии при давлении 1,1 кбар под действием облучения тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2014-50. Дубна, 2014; Письма в ЭЧАЯ. 2015 (направлено).
 26. Didyk A. Yu., Wiśniewski R. Phenomenological Nuclear-Reaction Description in Deuterium-Saturated Palladium and Synthesized Structure in Dense Deuterium Gas under γ -Quanta Irradiation // Part. Nucl., Lett. 2013. V. 10, No. 3(180). P. 437–457; JINR Preprint E15-2012-35. Dubna, 2012.
 27. Физические величины: Справочник / Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1234 с.

Получено 18 ноября 2014 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 29.04.2015.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 3,18. Уч.-изд. л. 3,67. Тираж 225 экз. Заказ № 58532.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/