

P15-2016-1

А. Ю. Дидык, Г. Г. Гульбежян, Г. В. Мышинский

**АНОМАЛИИ НА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЯХ
КАМЕРЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ
КСЕНОНА Xe НРС (250 БАР) С ОБРАЗОВАНИЕМ
МИКРОЧАСТИЦ СЛОЖНОГО СОСТАВА
ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ТОРМОЗНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ
С ПОРОГОВОЙ ЭНЕРГИЕЙ 10 МэВ**

Направлено в журнал «Письма в ЭЧАЯ»

Дидык А. Ю., Гульбекян Г. Г., Мышинский Г. В.

P15-2016-1

Аномалии на внутренних поверхностях камеры высокого давления ксенона ХеНРС (250 бар) с образованием микрочастиц сложного состава при облучении тормозным излучением с пороговой энергией 10 МэВ

Естественный ксенон при начальном давлении 250 бар в камере высокого давления (ХеНРС) был облучен в течение 60 ч 16 мин ($2,17 \cdot 10^5$ с) тормозным излучением с максимальной энергией 10 МэВ на ускорителе электронов — микротроне МТ-25 — при средней интенсивности пучка электронов 20–22 мкА. Давление при стационарном режиме облучения вначале подрастало до 270 бар за счет повышения температуры. После вскрытия ХеНРС обе внутренние камеры со всеми структурами, но без газа были промерены на германиевом γ -детекторе. При визуальном осмотре поверхностей внутренней сборки ХеНРС было обнаружено видимое покрытие значительной толщины, зеленовато-желтоватого цвета. Исследования, проведенные методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгеновского микрозондового анализа (РМЗА), позволили определить элементный состав синтезированных частиц.

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

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2016

Didyk A. Yu., Gulbekyan G. G., Myshinskiy G. V.

P15-2016-1

Anomalies on the Inner Surfaces of the Xenon High-Pressure Chamber XeHPC (250 Bar) with the Synthesis of Microparticles of Complex Composition under Irradiation with Bremsstrahlung Threshold Energy of 10 MeV

Natural xenon at an initial pressure of 250 bar in a special chamber (XeHPC) was irradiated for 60 h 16 min ($2.17 \cdot 10^5$ s) by braking γ -rays with a threshold energy of 10 MeV at the electron accelerator MT-25 at an average intensity of the beam of 20–22 μ A. With increase in temperature the pressure in the steady state at the beginning of exposure grew up to 270 bar. After opening of the XeHPC both internal chambers with all the structures and particles, but without gas, were measured using a γ -germanium detector. Visual inspection of the inner chambers showed visible dense greenish-yellow coating of significant thickness formed on their surfaces. X-ray microprobe analysis (RMPA) and SEM studies allowed us to determine the composition of the synthesized particles.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Ранее были проведены исследования элементного состава синтезированных частиц и объектов, а также структуры поверхностей элементов камеры высокого давления дейтерия (ДНРС) с образцами ряда металлов и сплавов — Al, V, Cu, Pd, Sn, Re, Y Mn_2 и нержавеющей стали — в виде стержней и проволок, находившихся в атмосфере газообразного молекулярного дейтерия при высоком давлении под действием тормозного излучения с максимальными энергиями 10 МэВ [1–13] (далее: γ -кванты с $E_{\text{max}} = 10$ МэВ) и 23 МэВ [14–18]. Аналогичные исследования для изучения возможностей протекания ядерных реакций были проведены в камерах с высоким давлением водорода (НРС) с палладиевым [19–21] и оловянным [22–24] стержнями внутри и без металлических образцов [25, 26] при облучении тормозными γ -квантами с $E_{\text{max}} = 10$ МэВ. Также исследованы камеры высокого давления гелия (HeНРС) без металлических образцов внутри [27–30], с палладиевым стержнем внутри [31, 32] при облучении γ -квантами с $E_{\text{max}} = 10$ МэВ. Обзор по результатам в плотных газах H_2 , D_2 и He представлен в [33].

Обсуждения возможных феноменологических модельных подходов с ядерными реакциями деления в капельной модели ядра и слияния ядер представлены в работах [3, 4, 7, 9, 19, 22, 24, 25, 28, 34].

Цель настоящей работы — повторение эксперимента с ХеНРС, выполненного при давлении 270 атм, результаты которого представлены в [35, 36], в несколько измененных условиях с целью подтверждения протекания процессов по образованию новых элементов и синтезированных из них структур, которые отсутствовали в материале внутренних камер, входящих в состав ХеНРС, после облучения тормозным излучением с максимальной энергией 10 МэВ.

КАМЕРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ КСЕНОНА (ХеНРС) И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ НА МИКРОТРОНЕ МТ-25

Камера высокого давления ксенона (ХеНРС), схематически изображенная на рис. 1, представляет собой цилиндр 2 с внешним диаметром 21,3 мм и длиной 112 мм, изготовленный из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т.

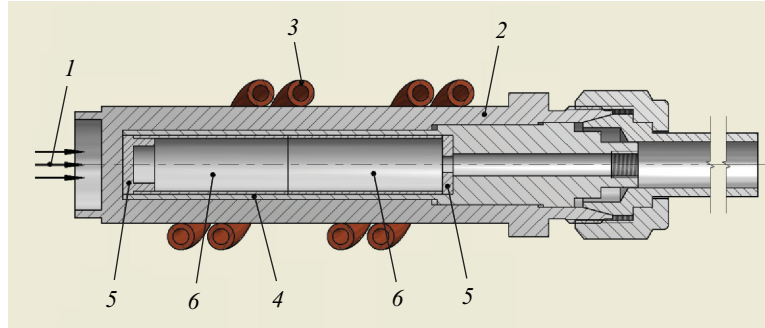


Рис. 1. Схема камеры высокого давления ксенона: 1 — поток тормозных γ -квантов; 2 — корпус XeHPC; 3 — трубка водяного охлаждения; 4 — тонкостенный внешний пенал; 5 — передняя и задняя внутренние втулки; 6 — передний и задний тонкостенные внутренние вкладыши

Внутренний диаметр цилиндра составляет 13 мм. Передняя стенка цилиндра, направленная в сторону потока γ -квантов, имеет толщину 4 мм. Корпус XeHPC охлаждается водой, протекающей по медной трубке 3 диаметром 5 мм. Внутри стального цилиндра вставляются два вкладыша. Внешний пенал 4 изготовлен из дюрала алюминия Д16Т и имеет внутренний диаметр 11 мм. Внутренний вкладыш 6 изготовлен из чистого реакторного алюминия и состоит из двух частей — переднего и заднего цилиндров длиной 29 мм, каждый с внутренним диаметром 10 мм. Передняя и задняя втулки 5 внутреннего вкладыша также изготовлены из реакторного алюминия. Толщина передней втулки составляет 2 мм.

XeHPC была заполнена ксеноном путем его вымораживания при температуре ожидения, т. е. при $T_{\text{жид}} = -110^\circ \text{C}$ [35]. Затем камера была отогрета до комнатной температуры, и давление газообразного ксенона оказалось равным 250 атм. Давление ксенона контролировалось перед началом облучения и не изменилось в течение двух суток после заполнения XeHPC. Отметим, что при полном заполнении жидким ксеноном всего внутреннего объема камеры максимальное давление, которое можно получить, составляет $P_{\text{Xe}}^{\text{жид}} \approx 596,9$ атм при атомной плотности $n_{\text{Xe}}^{\text{жид}} = 1,614 \cdot 10^{22}$ атомов/см³.

Исходный изотопный состав ксенона в баллоне соответствует естественному составу и дополнительно был определен с помощью газового масс-анализатора QMS-200, и были получены соответствующие концентрации всех девяти изотопов ксенона: $^{124}_{54}\text{Xe}$ (0,10 %), $^{126}_{54}\text{Xe}$ (0,09 %), $^{128}_{54}\text{Xe}$ (1,91 %), $^{129}_{54}\text{Xe}$ (26,4 %), $^{130}_{54}\text{Xe}$ (4,1 %), $^{131}_{54}\text{Xe}$ (21,2 %), $^{132}_{54}\text{Xe}$ (26,9 %), $^{134}_{54}\text{Xe}$ (10,4 %) и $^{136}_{54}\text{Xe}$ (8,9 %) [35, 36]. Объемная доля ксенона в баллоне составила 99,9997 %.

Облучение ХеНРС было проведено в течение времени $t = 2,17 \cdot 10^5$ с (60 ч 16 мин) γ -квантами с $E_{\max} = 10$ МэВ на ускорителе электронов МТ-25. Средний ток электронов на мишени составлял 20–22 мкА. При этом осуществлялось интегрирование тока электронного пучка с целью контроля параметров облучения и воспроизведения результатов при повторных исследованиях, что представляется очень важным. По этим измерениям полный интегральный поток за время облучения $t = 2,17 \cdot 10^5$ с составил $\Phi = 4,4 \cdot 10^{19}$ электронов.

В стационарном режиме облучения давление в ХеНРС поднялось с 250 до 270 атм. Облучение проводилось в дневное время по 7–8 ч в сутки. Измерение давления в ХеНРС осуществлялось при комнатной температуре перед началом облучения и по его окончании. Значительного падения давления, как в первом эксперименте [35, 36], не было отмечено.

После сброса давления газа в ХеНРС до атмосферного сборка двух внутренних вкладышей без разборки (рис. 1, поз. 4–6) была помещена в германиевый γ -детектор («Санберга») с разрешением 1,5 кэВ на линии ^{60}Co 1332,5 кэВ для измерения γ -спектров в течение 15 ч для лучшего набора статистики. Фон γ -детектора также измерялся в течение 15 ч.

После измерения γ -спектров внутренние вкладыши были разобраны. Внешняя поверхность пенала из Д16 и внутренние поверхности тонкостенного вкладыша и втулки из алюминиевой фольги (рис. 1, поз. 5, 6), передние — в большей степени, а задние — в меньшей, оказались покрытыми зеленовато-желтоватым слоем. Толщина покрытия оказалась меньше, чем в первом эксперименте.

РЭМ- И РМЗА-ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕДНЕГО АЛЮМИНИЕВОГО ВКЛАДЫША

Все РЭМ- и РМЗА-исследования, представленные ниже, были проведены в Научном центре волоконной оптики (НЦВО) РАН на электронном сканирующем микроскопе JSM-5910LV с аналитической системой AZTec («Oxford Instruments»).

На рис. 2, а и б представлены РЭМ-изображения двух участков внутренней поверхности переднего алюминиевого вкладыша (рис. 1, поз. 6). В указанных точках проведен РМЗА, результаты которого приведены в табл. 1.

На рис. 3, а представлено РЭМ-изображение участка поверхности переднего вкладыша, на рис. 3, б — увеличенное изображение комплекса частиц. В указанных точках проведен РМЗА, его результаты приведены в табл. 2.

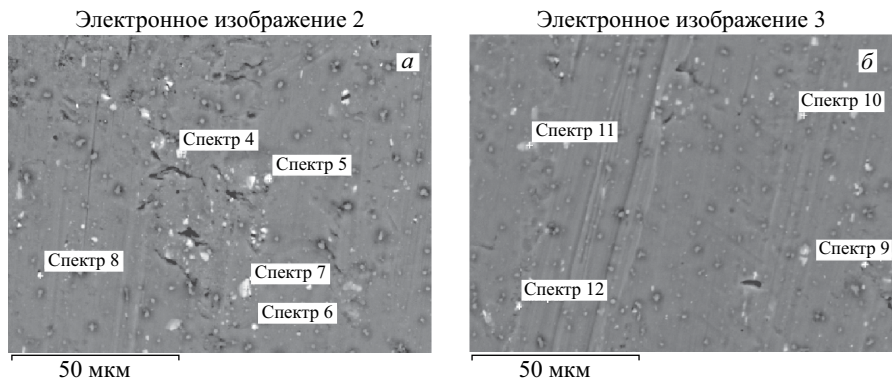


Рис. 2. РЭМ-изображения двух участков внутренней поверхности переднего вкладыша, в отмеченных точках которых проведен РМЗА

Таблица 1. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 2, а, б

Номер спектра	C	O	Mg	Al	Si	Cl	Fe	Sb	Процент. содерж.
Рис. 2, а									
Спектр 4	11,08	4,21	—	71,40	0,42	—	12,88	—	масс. %
Спектр 5	7,98	2,97	—	69,67	0,53	—	18,85	—	масс. %
Спектр 6	11,53	1,54	0,97	79,15	—	—	0,16	6,65	масс. %
Спектр 7	6,42	3,51	0,15	72,13	0,72	—	17,07	—	масс. %
Спектр 8	6,74	3,64	—	88,97	—	—	0,64	—	масс. %
Спектр 4	22,63	6,46	—	64,89	0,37	—	5,65	—	ат. %
Спектр 5	17,55	4,90	—	68,15	0,49	—	8,91	—	ат. %
Спектр 6	23,48	2,35	0,98	71,78	—	—	0,07	1,34	ат. %
Спектр 7	14,20	5,82	0,17	71,01	0,68	—	8,12	—	ат. %
Спектр 8	13,70	5,56	—	80,47	—	—	0,28	—	ат. %
Рис. 2, б									
Спектр 9	7,02	7,36	—	67,24	1,59	—	16,78	—	масс. %
Спектр 10	7,16	3,40	—	76,65	0,31	—	12,48	—	масс. %
Спектр 11	32,77	10,66	0,23	45,18	0,36	0,20	10,60	—	масс. %
Спектр 12	6,25	4,56	—	73,87	2,72	—	12,59	—	масс. %

На рис. 4 представлены РЭМ-изображения участков поверхности переднего вкладыша с множественными объектами и аномальными образованиями, на которых сделан РМЗА. Его результаты показаны в табл. 3.

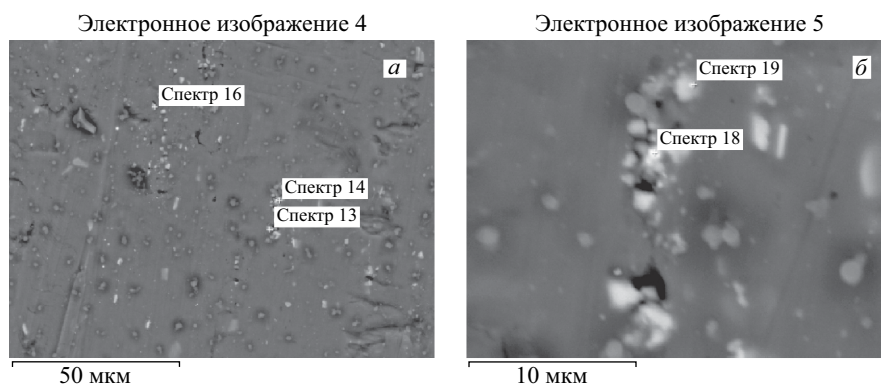


Рис. 3. РЭМ-изображения участка поверхности переднего вкладыша (а) и комплекса частиц (при увеличении) (б)

Таблица 2. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 3, а, б

Номер спектра	C	O	Mg	Al	Si	Cl	Mn	Fe	Cu	Sb	Pb	Процент. содерж.
Рис. 3, а												
Спектр 13	13,49	6,67	—	62,33	2,88	0,17	0,14	13,94	0,36	—	—	масс. %
Спектр 14	5,11	3,65	0,21	71,44	2,57	0,48	0,20	14,02	0,55	—	1,77	масс. %
Спектр 16	9,20	2,97	—	79,22	0,34	—	—	8,26	—	—	—	масс. %
Спектр 13	26,65	9,89	—	54,80	2,44	0,12	0,06	5,92	0,13	—	—	ат. %
Спектр 14	11,55	6,19	0,23	71,80	2,48	0,37	0,10	6,81	0,24	—	0,23	ат. %
Спектр 16	18,92	4,59	—	72,53	0,30	—	—	3,65	—	—	—	ат. %
Рис. 3, б												
Спектр 18	6,55	6,19	0,49	64,75	1,64	2,30	0,13	8,79	0,41	0,34	8,41	масс. %
Спектр 19	9,60	1,93	—	80,92	1,06	—	0,16	6,09	0,23	—	—	масс. %
Спектр 18	14,79	10,50	0,55	65,13	1,58	1,76	0,07	4,27	0,18	0,08	1,10	ат. %
Спектр 19	19,63	2,96	—	73,64	0,93	—	0,07	2,68	0,09	—	—	ат. %

На рис. 5 представлены РЭМ-изображения участка поверхности переднего вкладыша с множественными объектами (а) и синтезированными структурами при большем увеличении (б), в которых проведен РМЗА. Его результаты показаны в табл. 4.

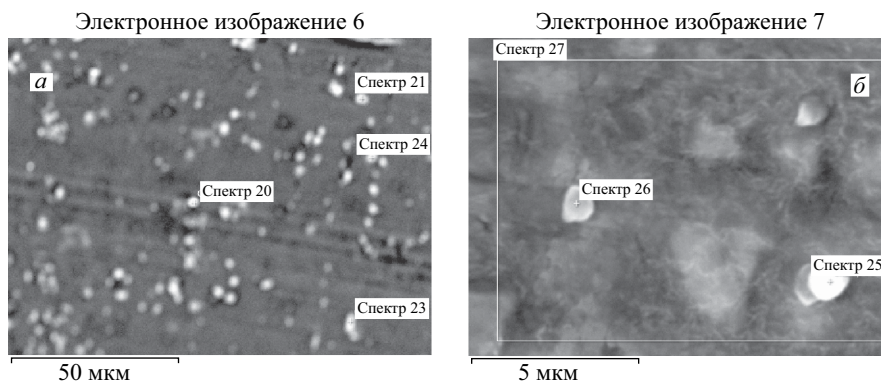


Рис. 4. РЭМ-изображения участка поверхности переднего вкладыша с аномальными образованиями

Таблица 3. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 4, а, б

Номер спектра	C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	Ca	Cr	Fe	Ni	Процент. содерж.
Рис. 4, а												
Спектр 20	11,67	7,19	—	—	70,41	—	—	—	0,11	6,93	3,69	масс. %
Спектр 21	6,67	7,58	—	—	72,25	1,22	—	—	—	12,28	—	масс. %
Спектр 23	4,95	3,60	—	—	82,89	—	—	—	—	8,57	—	масс. %
Спектр 24	12,26	7,11	—	—	67,95	1,11	—	—	—	11,58	—	масс. %
Спектр 20	23,03	10,65	—	—	61,84	—	—	—	0,05	2,94	1,49	ат. %
Спектр 21	13,98	11,94	—	—	67,45	1,09	—	—	—	5,54	—	ат. %
Спектр 23	10,67	5,82	—	—	79,54	—	—	—	—	3,97	—	ат. %
Спектр 24	24,13	10,50	—	—	59,53	0,93	—	—	—	4,90	—	ат. %
Рис. 4, б												
Спектр 25	53,64	12,06	0,15	0,38	31,77	0,20	0,07	0,03	—	1,69	—	масс. %
Спектр 26	47,18	7,60	—	0,16	44,54	0,23	0,08	—	—	0,21	—	масс. %
Спектр 27	15,60	6,22	—	—	76,00	—	—	—	—	2,18	—	масс. %

На рис. 6 показаны РЭМ-изображения участков поверхности переднего вкладыша с отдельным крупным объектом (а) и множественными объектами (б), часть из которых имеет огранку. Результаты РМЗА приведены в табл. 5.

На рис. 7 представлены РЭМ-изображения участков поверхности переднего вкладыша с россыпью объектов (а) и кристаллитом размером 5×3 мкм в центре (б). Результаты РМЗА приведены в табл. 6.

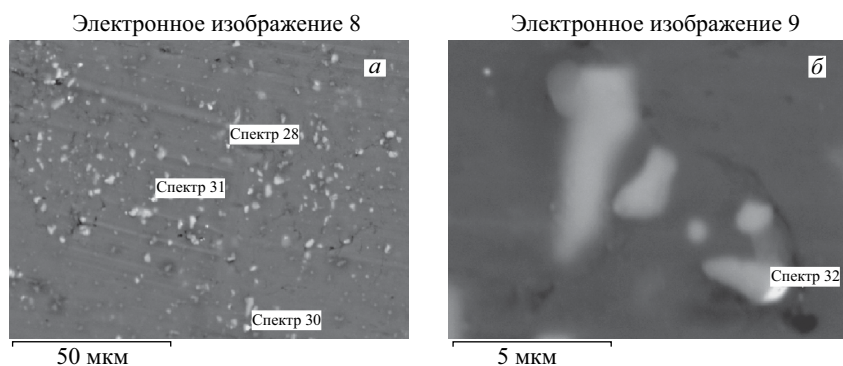


Рис. 5. РЭМ-изображения участка поверхности переднего вкладыша с множественными объектами (а) и синтезированными структурами при большем увеличении (б)

Таблица 4. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 5, а, б

Номер спектра	C	O	Mg	Al	Si	S	Cl	Mn	Fe	Ni	Процент. содерж.
Рис. 5, а											
Спектр 28	9,94	5,81	—	71,58	0,37	—	0,18	0,09	8,05	3,98	масс. %
Спектр 30	9,63	4,91	—	74,02	0,22	—	—	—	7,17	4,06	масс. %
Спектр 31	10,40	10,71	0,24	63,22	0,83	0,09	0,30	0,07	10,56	3,59	масс. %
Спектр 28	20,30	8,91	—	65,10	0,32	—	0,13	0,04	3,54	1,66	ат. %
Спектр 30	19,77	7,56	—	67,61	0,19	—	—	—	3,16	1,70	ат. %
Спектр 31	20,71	16,01	0,24	56,06	0,70	0,06	0,20	0,03	4,52	1,46	ат. %
Рис. 5, б											
Спектр 32	17,77	2,73	—	65,23	0,31	—	0,17	—	8,95	4,83	масс. %
Спектр 32	34,20	3,94	—	55,88	0,26	—	0,11	—	3,71	1,90	ат. %

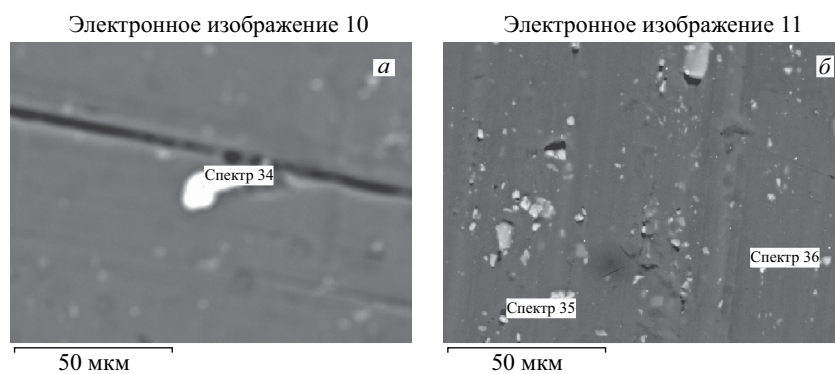
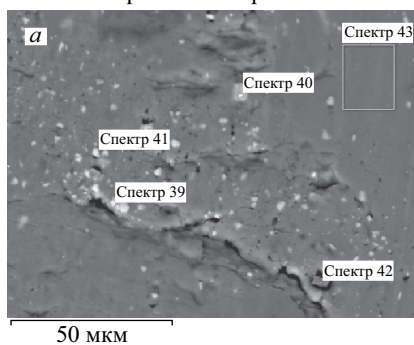


Рис. 6. РЭМ-изображения участков поверхности переднего вкладыша

Таблица 5. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 6, а, б

Номер спектра	C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	Mn	Fe	Ni	Cu	Pb	Процент. содерж.
Рис. 6, а													
Спектр 34	9,47	8,50	1,03	0,46	4,72	0,17	0,16	0,41	50,20	24,89	—	—	масс. %
Спектр 34	27,18	18,33	1,55	0,65	6,04	0,21	0,15	0,26	31,01	14,62	—	—	ат. %
Рис. 6, б													
Спектр 35	16,08	8,52	—	0,22	61,84	3,07	—	0,08	10,20	—	—	—	масс. %
Спектр 36	16,72	3,46	—	—	66,25	2,58	—	0,10	5,74	—	0,25	4,91	масс. %
Спектр 35	29,98	11,93	—	0,20	51,32	2,45	—	0,03	4,09	—	—	—	ат. %
Спектр 36	32,47	5,04	—	—	57,27	2,14	—	0,04	2,40	—	0,09	0,55	ат. %

Электронное изображение 12



Электронное изображение 13

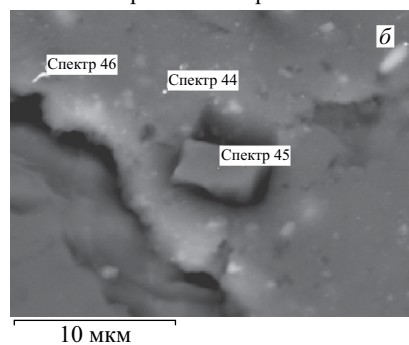
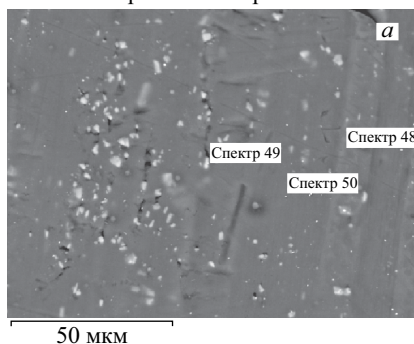


Рис. 7. РЭМ-изображения участков поверхности переднего вкладыша с россыпью объектов (а) и кристаллитом (б)

Электронное изображение 14



Электронное изображение 15

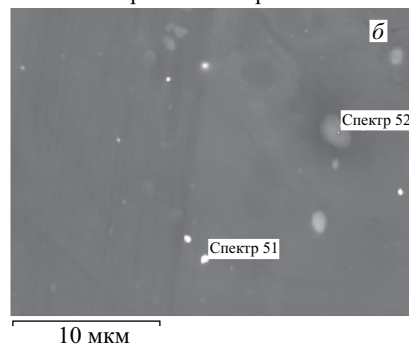


Рис. 8. РЭМ-изображения участков поверхности переднего вкладыша с россыпью объектов (а) и отдельные структуры при большем увеличении (б)

Таблица 6. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 7, а, б

Номер спектра	C	O	Mg	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe	Cu	Pb	Процент. содерж.
Рис. 7, а												
Спектр 39	15,70	8,26	0,36	65,28	1,99	—	—	0,80	7,61	—	—	масс. %
Спектр 40	14,09	3,67	—	70,06	0,55	—	—	—	10,47	0,12	1,03	масс. %
Спектр 41	12,73	9,43	0,41	63,85	1,55	—	—	0,29	11,75	—	—	масс. %
Спектр 42	20,30	42,47	6,65	19,35	0,10	—	0,07	10,85	0,14	—	0,07	масс. %
Спектр 43	11,65	4,26	—	83,95	—	—	—	—	0,14	—	—	масс. %
Спектр 39	29,15	11,51	0,33	53,95	1,58	—	—	0,45	3,04	—	—	ат. %
Спектр 40	27,85	5,45	—	61,63	0,47	—	—	—	4,45	0,04	0,12	ат. %
Спектр 41	24,62	13,69	0,39	54,98	1,28	—	—	0,17	4,89	—	—	ат. %
Спектр 42	30,10	47,28	4,87	12,77	0,06	—	0,04	4,82	0,05	—	0,01	ат. %
Спектр 43	22,30	6,11	—	71,52	—	—	—	—	0,06	—	—	ат. %
Рис. 7, б												
Спектр 44	10,86	13,00	0,72	74,06	0,40	—	—	0,66	0,30	—	—	масс. %
Спектр 45	21,02	42,36	6,1	19,81	0,09	0,05	0,08	10,08	0,11	—	—	масс. %
Спектр 46	12,17	20,41	1,14	58,95	0,26	—	0,67	0,83	0,19	—	5,39	масс. %
Спектр 44	19,97	17,95	0,65	60,63	0,32	—	—	0,36	0,12	—	—	ат. %
Спектр 45	30,95	46,81	4,66	12,98	0,05	0,03	0,04	4,44	0,03	—	—	ат. %
Спектр 46	22,04	27,74	1,02	47,51	0,20	—	0,41	0,45	0,07	—	0,57	ат. %

Таблица 7. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 8, а, б

Номер спектра	C	O	Mg	Al	Si	Cl	Mn	Fe	Pb	Процент. содерж.
Рис. 8, а										
Спектр 48	16,32	6,79	—	62,31	—	—	—	0,06	14,52	масс. %
Спектр 49	16,2	8,61	—	62,76	2,70	—	0,06	9,67	—	масс. %
Спектр 50	20,21	3,22	—	76,48	—	—	—	0,09	—	масс. %
Спектр 48	32,64	10,19	—	55,47	—	—	—	0,02	1,68	ат. %
Спектр 49	30,08	12	—	51,88	2,15	—	0,02	3,86	—	ат. %
Спектр 50	35,65	4,26	—	60,05	—	—	—	0,04	—	ат. %
Рис. 8, б										
Спектр 51	19,15	10,71	0,48	53,07	—	0,61	—	—	15,98	масс. %
Спектр 52	32,36	20,91	1,26	45,14	0,20	0,13	—	—	—	масс. %
Спектр 51	36,7	15,41	0,45	45,27	—	0,4	—	—	1,77	ат. %
Спектр 52	46,97	22,78	0,90	29,16	0,13	0,06	—	—	—	ат. %

На рис. 8 показаны РЭМ-изображения участков поверхности переднего вкладыша с россыпью объектов (а) и отдельные структуры при большем увеличении (б). Результаты РМЗА приведены в табл. 7.

РЭМ- И РМЗА-ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕДНЕЙ АЛЮМИНИЕВОЙ ВТУЛКИ

На рис. 9 представлены РЭМ-изображения участка поверхности передней алюминиевой втулки (ПАВ) с россыпью объектов (а) и отдельных структур при большем увеличении (б). Результаты РМЗА приведены в табл. 8.

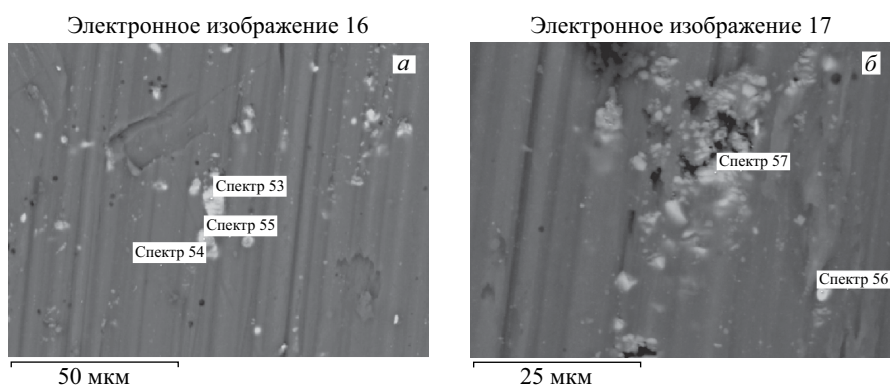


Рис. 9. РЭМ-изображения участка поверхности ПАВ с россыпью объектов (а) и отдельных структур при большем увеличении (б)

Таблица 8. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 9, а, б

Номер спектра	C	O	Mg	Al	Si	Cl	Mn	Fe	Ni	Cu	Процент. содерж.
Рис. 9, а											
Спектр 53	9,05	7,00	0,57	45,07	0,13	0,31	0,12	0,09	0,40	37,25	масс. %
Спектр 54	9,85	2,16	1,22	82,23	—	—	0,75	—	—	3,78	масс. %
Спектр 55	8,66	6,97	0,66	49,92	—	0,15	0,15	0,09	0,37	33,04	масс. %
Спектр 53	21,55	12,52	0,68	47,79	0,13	0,25	0,06	0,05	0,20	16,77	ат. %
Спектр 54	19,88	3,27	1,22	73,86	—	—	0,33	—	—	1,44	ат. %
Спектр 55	20,20	12,20	0,76	51,85	—	0,11	0,08	0,05	0,18	14,57	ат. %
Рис. 9, б											
Спектр 56	11,16	2,84	0,89	62,68	—	—	0,30	0,15	3,35	18,64	масс. %
Спектр 57	12,66	4,29	0,38	53,94	4,22	0,08	8,08	9,41	0,42	6,53	масс. %
Спектр 56	24,29	4,65	0,96	60,74	—	—	0,14	0,07	1,49	7,67	ат. %
Спектр 57	26,92	6,85	0,40	51,07	3,84	0,06	3,75	4,31	0,18	2,63	ат. %

РЭМ- И РМЗА-ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАДНЕЙ АЛЮМИНИЕВОЙ ВТУЛКИ

На рис. 10 представлены: РЭМ-изображение участка поверхности задней алюминиевой втулки (ЗАВ) с двумя крупными частицами диаметрами примерно по 14 и 17 мкм (*а*) и их увеличенное изображение (*б*). Результаты РМЗА приведены в табл. 9 и 10.

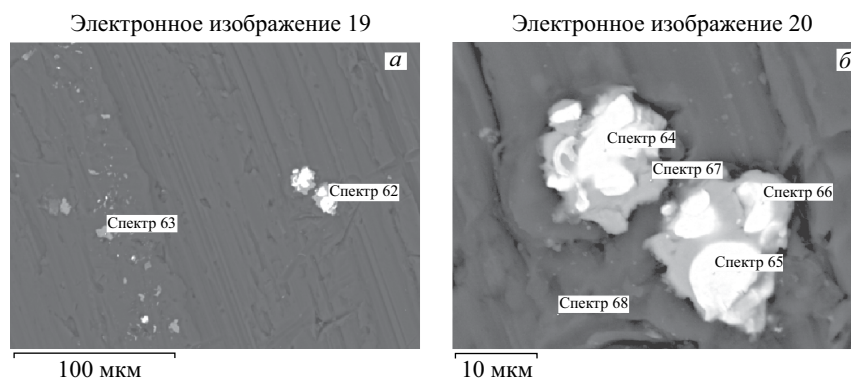


Рис. 10. РЭМ-изображения участка поверхности ЗАВ с двумя крупными частицами (*а*) и этих же частиц при увеличении (*б*)

Таблица 9. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 10, *а*

Номер спектра	C	O	Al	Si	S	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	W	Процент. содерж.
Спектр 62	8,08	2,30	—	—	—	—	—	—	—	—	1,04	88,58	масс. %
Спектр 63	7,10	—	1,48	0,56	0,15	0,55	16,59	0,55	63,48	9,54	—	—	масс. %
Спектр 62	51,17	10,92	—	—	—	—	—	—	—	—	1,25	36,66	ат. %
Спектр 63	25,57	—	2,38	0,87	0,20	0,49	13,81	0,44	49,2	7,03	—	—	ат. %

Таблица 10. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 10, *б*

Номер спектра	C	O	Al	Ca	Ni	Cu	Br	Sr	W	Процент. содерж.
Спектр 64	16,86	1,47	—	—	—	0,51	—	—	81,16	масс. %
Спектр 65	12,70	1,68	—	—	—	1,35	—	—	84,27	масс. %
Спектр 66	13,00	6,69	—	0,78	—	1,27	0,67	3,08	74,51	масс. %
Спектр 67	15,82	1,94	1,75	—	0,48	80,02	—	—	—	масс. %
Спектр 68	22,31	2,90	74,79	—	—	—	—	—	—	масс. %
Спектр 64	72,16	4,74	—	—	—	0,41	—	—	22,69	ат. %
Спектр 65	64,40	6,39	—	—	—	1,29	—	—	27,91	ат. %
Спектр 66	54,42	21,03	—	0,98	—	1,00	0,42	1,77	20,38	ат. %
Спектр 67	47,55	4,37	2,33	—	0,29	45,46	—	—	—	ат. %
Спектр 68	38,62	3,77	57,62	—	—	—	—	—	—	ат. %

На рис. 11 показаны РЭМ-изображения двух участков поверхности ЗАВ с одной частицей размером порядка 10 мкм (а) и группой частиц (б). Результаты РМЗА приведены в табл. 11 и 12.

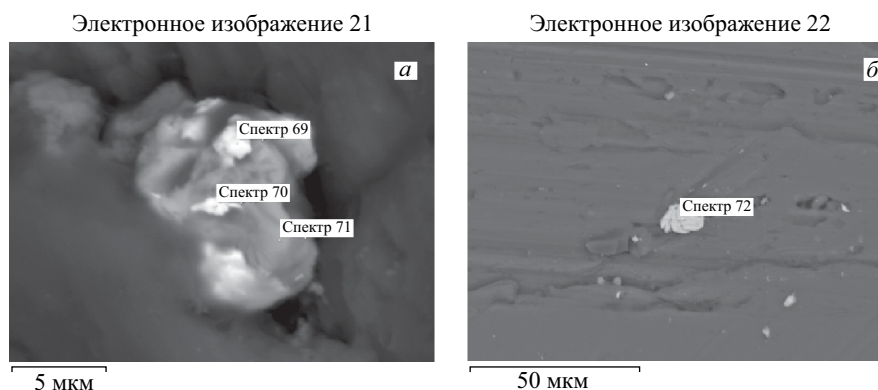


Рис. 11. РЭМ-изображения двух участков поверхности ЗАВ с одной частицей (а) и группой частиц (б)

Таблица 11. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 11,а

Номер спектра	C	O	Mg	Al	Si	P	S	Fe	Ni	Cu	Sr	W	Процент. содерж.
Спектр 69	11,98	6,90	0,28	13,23	—	—	—	0,62	—	4,61	5,09	57,28	масс. %
Спектр 70	12,17	7,6	—	2,52	—	0,62	0,83	0,71	—	13,18	5,78	57,04	масс. %
Спектр 71	10,73	4,6	0,62	26,91	0,24	—	—	0,45	0,43	56,45	—	—	масс. %
Спектр 69	41,84	18,8	0,49	20,57	—	—	—	0,47	—	3,04	2,44	13,07	ат. %
Спектр 70	46,12	20,8	—	4,25	—	0,91	1,18	0,58	—	9,44	3,00	14,13	ат. %
Спектр 71	28,93	8,2	0,20	32,29	0,28	—	—	0,26	0,24	28,76	—	—	ат. %

Таблица 12. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 11,б

Номер спектра	C	O	Al	Cu	Zn	Процент. содерж.
Спектр 72	19,65	2,22	1,53	41,77	34,83	масс. %
Спектр 72	54,15	4,59	1,88	21,75	17,63	ат. %

На рис. 12 представлены РЭМ-изображения двух участков поверхности ЗАВ с двумя частицами размером порядка 20 и 5 мкм (а) и одной крупной частицей размером примерно 50 мкм (б). Результаты РМЗА приведены в табл. 13 и 14.

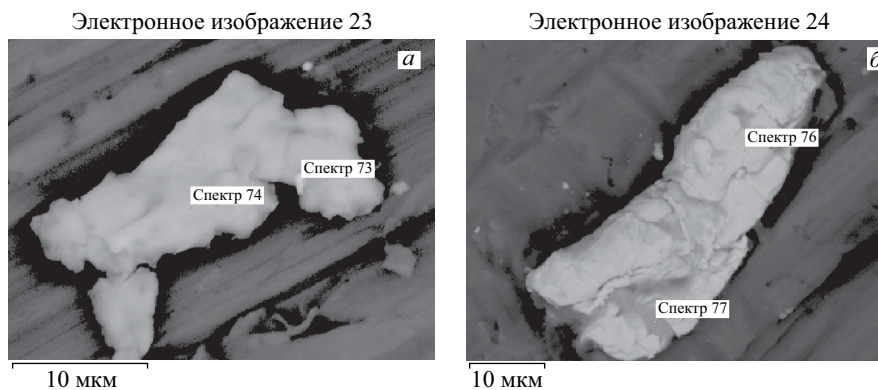


Рис. 12. РЭМ-изображения двух участков поверхности ЗАВ с двумя частицами (а) и одной крупной частицей (б)

Таблица 13. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 12, а

Номер спектра	C	O	Al	Si	Cl	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Bi	Процент. содерж.
Спектр 73	15,12	9,42	22,83	0,36	3,25	—	4,56	0,31	17,77	2,4	23,98	масс. %
Спектр 74	13,77	3,18	13,28	0,52	—	0,31	11,34	0,86	49,36	7,37	—	масс. %
Спектр 73	37,41	17,5	25,14	0,38	2,73	—	2,6	0,17	9,46	1,21	3,41	ат. %
Спектр 74	36,92	6,4	15,85	0,6	—	0,21	7,02	0,5	28,46	4,04	—	ат. %

Таблица 14. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 12, б

Номер спектра	C	O	Al	Ni	Cu	W	Процент. содерж.
Спектр 76	12,11	8,45	—	—	0,79	78,65	масс. %
Спектр 77	17,32	1,6	1,01	0,42	78,64	1,02	масс. %
Спектр 76	50,99	26,73	—	—	0,63	21,65	ат. %
Спектр 77	50,96	3,52	1,33	0,25	43,74	0,2	ат. %

На рис. 13 показаны РЭМ-изображения двух участков поверхности ЗАВ с несколькими частицами (а) и одной крупной частицей (б). Результаты РМЗА приведены в табл. 15 и 16.

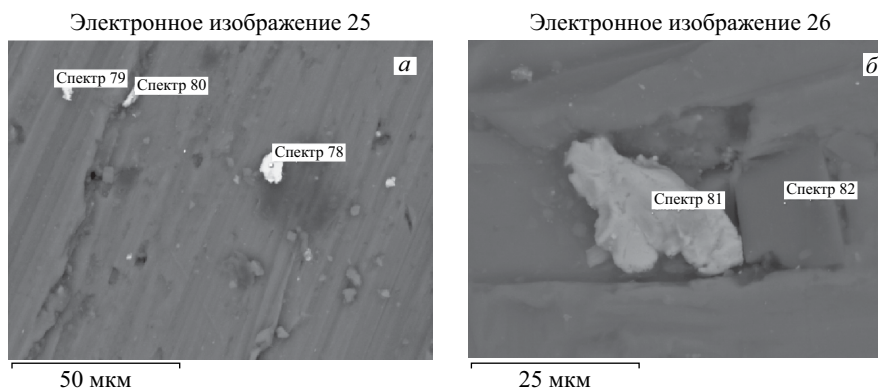


Рис. 13. РЭМ-изображения двух участков поверхности ЗАВ с несколькими частицами (а) и одной крупной частицей (б)

Таблица 15. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 13,а

Номер спектра	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Cu	Ag	Процент. содерж.
Спектр 78	16,55	5,37	0,76	0,26	18,74	0,30	—	0,5	—	—	—	57,51	масс. %
Спектр 79	26,19	6,71	0,68	—	39,96	—	—	0,29	—	—	—	26,17	масс. %
Спектр 80	24,31	5,31	1,62	0,43	11,17	0,23	0,09	0,12	0,09	0,16	56,48	—	масс. %
Спектр 78	45,78	11,14	1,1	0,36	23,08	0,36	—	0,47	—	—	—	17,71	ат. %
Спектр 79	49,99	9,61	0,68	—	33,96	—	—	0,19	—	—	—	5,56	ат. %
Спектр 80	53,72	8,81	1,87	0,47	10,99	0,21	0,07	0,09	0,06	0,11	23,6	—	ат. %

Таблица 16. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 13,б

Номер спектра	C	O	Na	Al	Si	Cu	Процент. содерж.
Спектр 81	20,82	1,76	—	4,76	0,32	72,34	масс. %
Спектр 82	49,03	3,72	0,15	0,59	46,31	0,2	масс. %
Спектр 81	54,68	3,48	—	5,57	0,36	35,92	ат. %
Спектр 82	68,09	3,88	0,11	0,37	27,51	0,05	ат. %

На рис. 14 представлены РЭМ-изображения двух участков поверхности ЗАВ с отдельными частицами. Результаты РМЗА приведены в табл. 17.

На рис. 15 показаны РЭМ-изображения двух участков поверхности ЗАВ с отдельными частицами. Результаты РМЗА приведены в табл. 18 и 19.

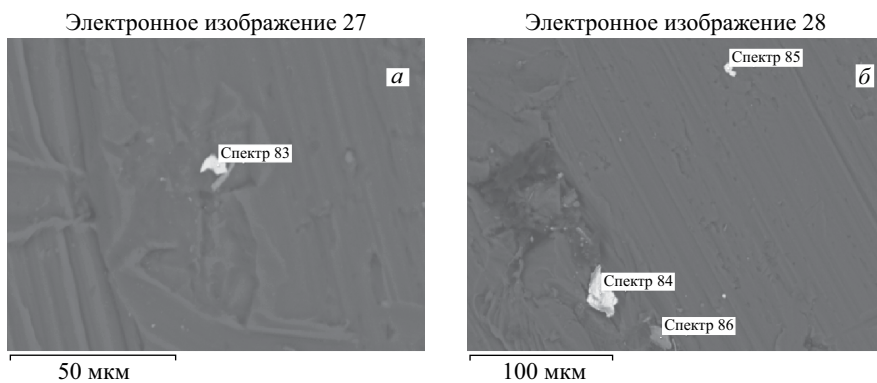


Рис. 14. РЭМ-изображения двух участков поверхности ЗАВ с отдельными частицами

Таблица 17. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 14, а, б

Номер спектра	C	O	Al	Si	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Ta	Процент. содерж.
Рис. 14, а											
Спектр 83	9,59	5,80	6,08	2,05	—	—	0,73	—	—	75,76	масс. %
Спектр 83	42,23	19,16	11,91	3,86	—	—	0,69	—	—	22,14	ат. %
Рис. 14, б											
Спектр 84	12,18	7,52	6,75	3,35	—	0,16	0,22	—	—	69,83	масс. %
Спектр 85	8,33	5,42	0,85	3,04	—	—	—	—	—	82,36	масс. %
Спектр 86	12,02	5,67	19,76	—	0,19	—	—	36,01	26,35	—	масс. %

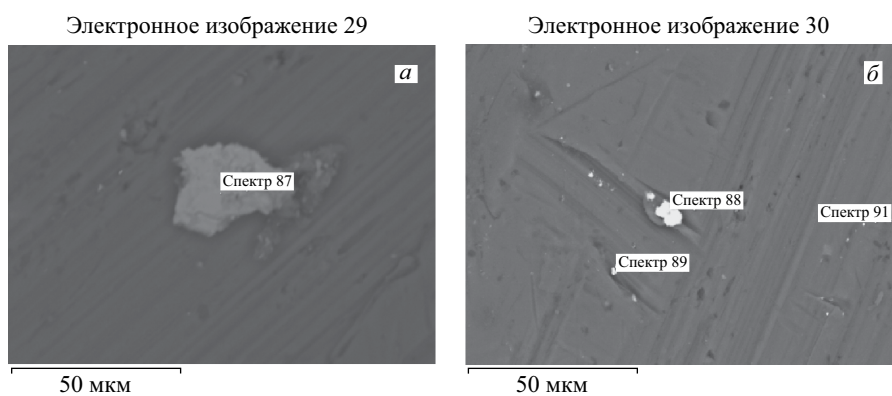


Рис. 15. РЭМ-изображения двух участков поверхности ЗАВ с отдельными частицами

Таблица 18. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 15,а

Номер спектра	C	O	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Процент. содерж.
Спектр 87	4,59	3,19	1,94	0,36	0,43	15,55	1,25	63,94	8,74	масс. %
Спектр 87	16,69	8,71	3,14	0,56	0,39	13,05	0,99	49,97	6,50	ат. %

Таблица 19. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 15,б

Номер спектра	C	O	F	Al	Si	Fe	Co	Cu	Zn	Ta	W	Процент. содерж.
Спектр 88	19,07	2,02	1,18	2,92	—	—	—	41,98	32,83	—	—	масс. %
Спектр 89	9,58	3,63	—	35,90	2,71	—	—	—	—	48,18	—	масс. %
Спектр 91	23,56	4,87	0,39	53,83	—	0,25	0,34	—	—	—	16,75	масс. %
Спектр 88	52,10	4,14	2,04	3,56	—	—	—	21,68	16,48	—	—	ат. %
Спектр 89	29,36	8,34	—	48,95	3,55	—	—	—	—	9,8	—	ат. %
Спектр 91	44,75	6,94	0,47	45,52	—	0,10	0,13	—	—	—	2,08	ат. %

На рис. 16 представлены РЭМ-изображения двух участков поверхности ЗАВ с отдельной частицей (а) и развитым рельефом (б). Результаты РМЗА приведены в табл. 20.

На рис. 17 показаны РЭМ-изображения двух участков поверхности ЗАВ с отдельными частицами. Результаты РМЗА приведены в табл. 21.

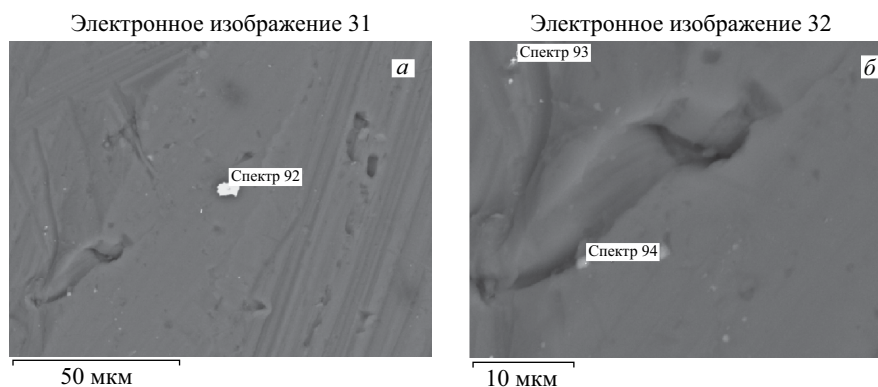


Рис. 16. РЭМ-изображения двух участков поверхности ЗАВ с отдельной частицей (а) и развитым рельефом (б)

Таблица 20. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 16, а, б

Номер спектра	C	O	Mg	Al	Si	S	Fe	Ag	Ta	Процент. содерж.
Рис. 16, а										
Спектр 92	14,30	6,01	0,33	37,99	0,30	0,57	—	40,50	—	масс. %
Спектр 92	35,11	11,07	0,40	41,51	0,31	0,52	—	11,07	—	ат. %
Рис. 16, б										
Спектр 93	13,71	7,65	0,35	62,31	7,81	—	—	—	8,17	масс. %
Спектр 94	13,06	26,93	0,56	46,44	—	—	13,00	—	—	масс. %

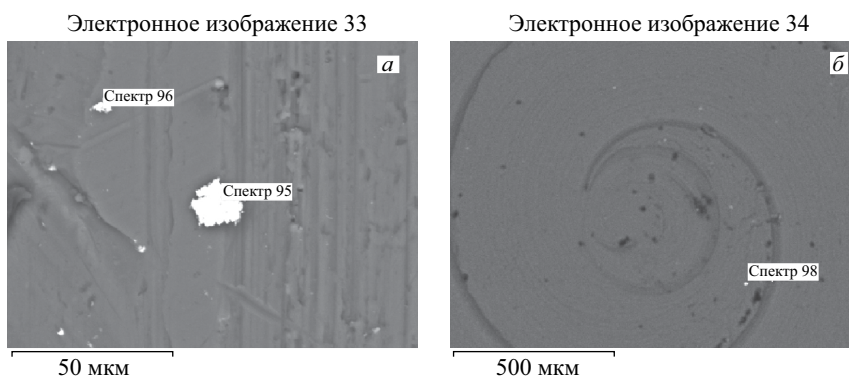


Рис. 17. РЭМ-изображения двух участков поверхности ЗАВ с отдельными частицами

Таблица 21. Концентрации элементов, измеренные в выделенных точках на рис. 17, а, б

Номер спектра	C	O	Al	Si	Cr	Fe	Cu	Ag	W	Процент. содерж.
Рис. 17, а										
Спектр 95	8,49	4,95	5,14	0,20	—	—	—	81,22	—	масс. %
Спектр 96	7,60	6,23	43,57	0,19	0,34	0,28	—	41,78	—	масс. %
Рис. 17, б										
Спектр 98	25,46	4,09	57,21	—	—	—	3,00	—	10,24	масс. %
Спектр 98	46,09	5,56	46,11	—	—	—	1,03	—	1,21	ат. %

РЭМ- И РМЗА-ИССЛЕДОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ПЕРЕДНЕЙ И ЗАДНЕЙ ВТУЛОК

С целью проведения независимых измерений часть РЭМ- и РМЗА-исследований была выполнена в аналитическом центре НИИЯФ им. Д. В. Скобель-

цына МГУ на сканирующем микроскопе LYRA-3 TESCAN (Чехия) с аналитической системой «Oxford Instruments» для энергодисперсионной спектроскопии на основе датчика измерения уровня характеристического рентгеновского излучения.

Приведем здесь наиболее интересные результаты.

Передняя (ПВ) и задняя (ЗВ) алюминиевые втулки имели заглабление в центре. На рис. 18 представлены РЭМ-изображения структур, которые были обнаружены на дне заглабления ПВ. В табл.22 приведены концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в выделенных областях.

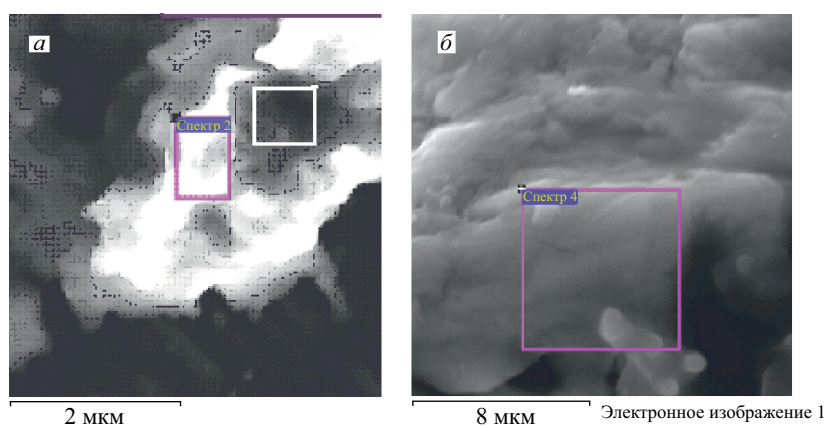


Рис. 18. РЭМ-изображения структур на дне заглабления ПВ

Таблица 22. Концентрации элементов, измеренные в выделенных областях на рис. 18, а, б

Процент. содерж.	С	О	Mg	Al	Si	P	Ni
Рис. 18, а, левая площадь							
вес. %	28,99	19,07	0,65	49,95	0,76	0,20	0,39
ат. %	43,70	21,58	0,48	33,51	0,49	0,12	0,12
Рис. 18 а, правая площадь							
вес. %	32,58	18,00	0,41	46,87	0,55	0,46	1,13
ат. %	48,05	19,93	0,30	30,77	0,35	0,26	0,34
Рис. 18, б, спектр 4							
вес. %	26,45	17,54	0,75	52,74	0,80	0,57	1,15
ат. %	41,16	20,49	0,57	36,54	0,53	0,34	0,37

На рис. 19 показаны РЭМ-изображения структур, которые были обнаружены на дне заглабления ПВ. В табл. 23 представлены концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в выделенных областях на рис. 19.

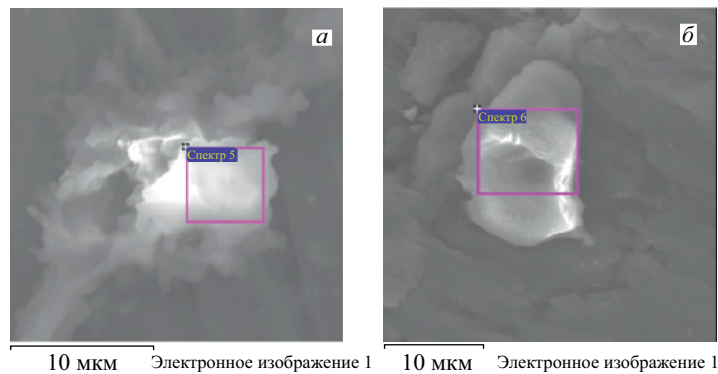


Рис. 19. РЭМ-изображения структур на дне заглибления ПВ

Таблица 23. Концентрации элементов, измеренные в выделенных областях на рис. 19, а, б

Процент. содерж.	C	O	Mg	Al	Si	P	Ni
Рис. 19, а, спектр 5							
вес. %	27,29	19,89	0,65	50,74	0,84	0,14	0,45
ат. %	41,57	22,75	0,49	34,42	0,55	0,08	0,14
Рис. 19, б, спектр 6							
вес. %	31,69	16,92	0,60	48,50	0,57	0,37	1,24
ат. %	47,32	18,97	0,44	32,24	0,37	0,27	0,38

На рис. 20 представлены РЭМ-изображения структур, которые были обнаружены на дне заглибления ПВ. В табл. 24 приведены концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в выделенных областях на рис. 20.

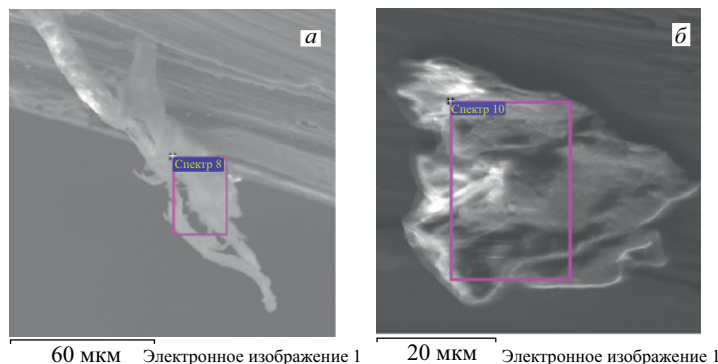


Рис. 20. РЭМ-изображения структур на дне заглибления ПВ

Таблица 24. Концентрации элементов, измеренные в выделенных областях на рис. 20, а, б

Процент. содерж.	C	O	Mg	Al	Si
Рис. 20, а, спектр 8					
вес. %	25,54	18,76	0,68	54,19	0,83
ат. %	39,63	21,86	0,52	37,44	0,55
Рис. 20, б, спектр 10					
вес.	27,39	15,87	—	55,73	1,02
ат. %	42,43	18,46	—	38,44	0,67

На рис. 21 приведены РЭМ-изображения структуры, которая была обнаружена на дне заглибления ПВ. В табл. 25 даны концентрации элементов, измеренные методом РМЗА.

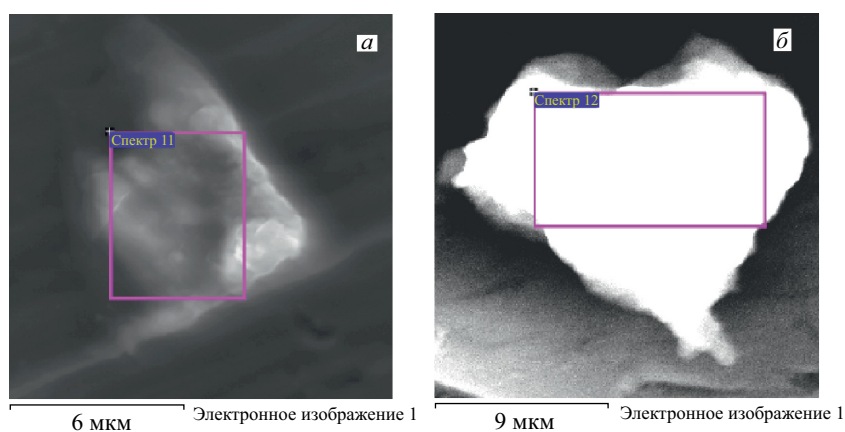


Рис. 21. РЭМ-изображения структуры на дне заглибления ПВ

Таблица 25. Концентрации элементов, измеренные в выделенных областях на рис. 21, а, б

Процент. содерж.	C	O	Mg	Al	Si	Ni
Рис. 21, а, спектр 11						
вес. %	28,87	17,93	—	52,39	0,81	—
ат. %	43,75	20,39	—	35,33	0,53	—
Рис. 21, б, спектр 12						
вес. %	26,98	19,22	0,75	51,92	0,89	0,24
ат. %	41,30	22,09	0,57	35,38	0,59	0,07

На рис.22 представлены РЭМ-изображения структур, которые были обнаружены на дне заглабления ЗВ. В табл.26 описаны концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в выделенных областях на рисунке.

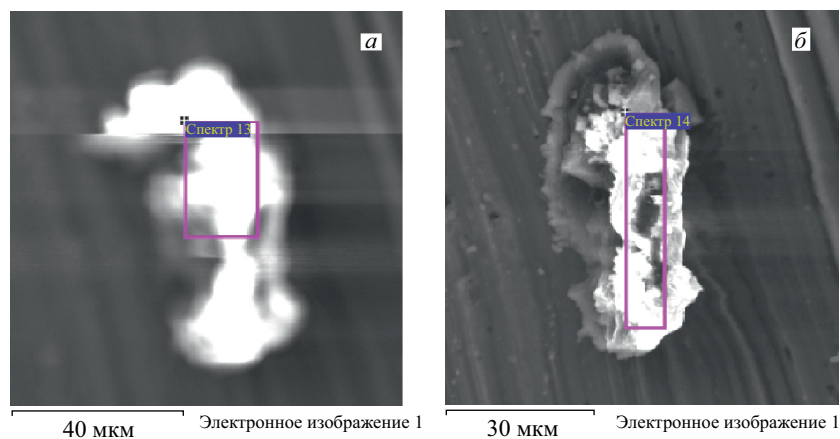


Рис. 22. РЭМ-изображения структур на дне заглабления ЗВ

Таблица 26. Концентрации элементов, измеренные в выделенных областях на рис.22, а, б

Процент. содерж.	C	O	Mg	Al	Cr	Fe	Cu
Рис. 22, а, спектр 13							
вес. %	38,22	31,13	0,89	29,21	—	—	0,55
ат. %	50,86	31,10	0,58	17,31	—	—	0,14
Рис. 22, б, спектр 14							
вес. %	37,65	33,75	0,89	27,26	0,03	0,07	0,36
ат. %	49,77	33,49	0,58	16,04	0,01	0,02	0,09

На рис. 23 показаны РЭМ-изображения структур, которые были обнаружены на дне заглабления ЗВ. В табл. 27 приведены концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченных областях.

На рис. 24 представлено РЭМ-изображение структуры поверхности на дне заглабления ЗВ (а), а также спектр характеристического рентгеновского излучения (СХРИ) (б). В табл. 28 приведены концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в отмеченной площади.

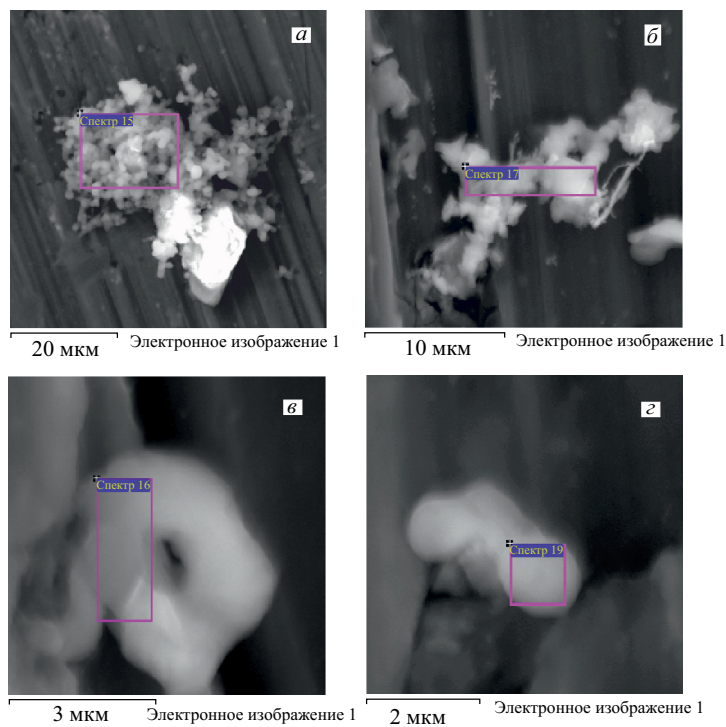


Рис. 23. РЭМ-изображения структур на дне заглубления ЗВ

Таблица 27. Концентрации элементов, измеренные в выделенных областях на рис. 23, а–г

Процент. содерж.	C	O	Mg	Al	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu
Рис. 23, а, спектр 15									
вес. %	35,58	24,28	1,17	38,22	0,02	—	—	—	0,72
ат. %	49,74	25,48	0,81	23,78	0,01	—	—	—	0,19
Рис. 23, б, спектр 17									
вес. %	38,22	26,00	1,01	33,42	—	—	—	0,24	1,11
ат. %	52,09	26,60	0,68	20,27	—	—	—	0,07	0,29
Рис. 23, в, спектр 16									
вес. %	36,79	28,06	1,09	31,72	—	—	0,24	0,57	1,54
ат. %	50,41	28,87	0,74	19,35	—	—	0,07	0,16	0,40
Рис. 23, г, спектр 19									
вес. %	33,28	22,32	1,15	41,71	—	0,21	0,04	0,17	1,12
ат. %	47,90	24,12	0,82	26,72	—	0,07	0,01	0,05	0,30

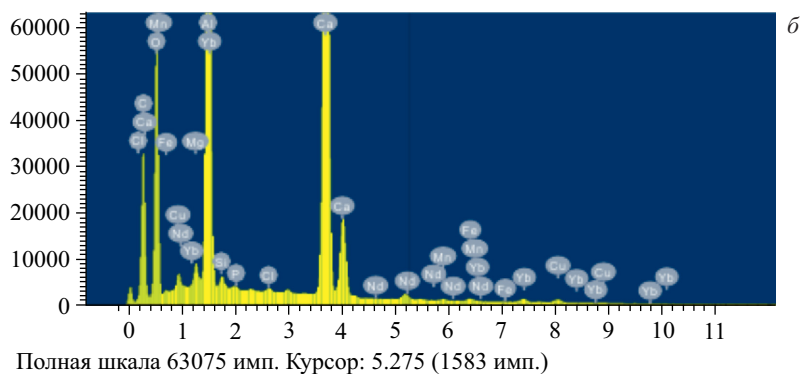
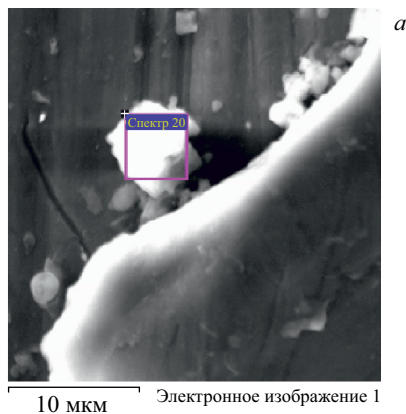


Рис. 24. РЭМ-изображение поверхности на дне заглибления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 28. Концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади на рис. 24,а

Процент. содерж.	С, К	О, К	Mg, К	Al, К	Si, К	P, К	Cl, К
вес. %	24,48	43,59	0,49	13,30	0,25	0,06	0,08
ат. %	35,71	47,73	0,35	8,64	0,16	0,03	0,04
Процент. содерж.	Ca, К	Mn, К	Fe	Cu, К	Nd, L	Yb, L	
вес. %	16,05	0,13	0,19	0,43	0,30	0,66	
ат. %	7,01	0,04	0,06	0,12	0,04	0,07	

На рис. 25,а представлено РЭМ-изображение той же структуры, что и на рис. 24,а, но с проведением РМЗА в другом месте, а на рис. 25,б — СХРИ. В табл. 29 даны концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади.

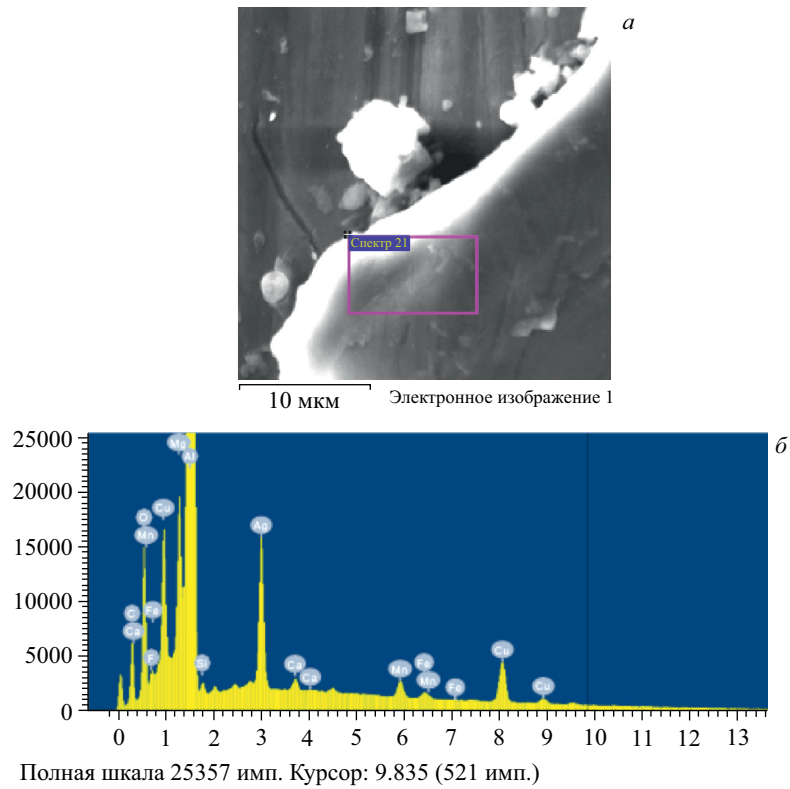


Рис. 25. РЭМ-изображение поверхности на дне заглибления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 29. Концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади на рис. 25,а

Процент. содерж.	С, К	О, К	F	Mg, К	Al, К	Si, К
вес. %	15,68	10,80	0,51	1,37	63,12	0,23
ат. %	28,91	14,95	0,60	1,25	51,80	0,18
Процент. содерж.	Ca, К	Mn, К	Fe, К	Cu, К	Ag, L	
вес. %	0,19	0,53	0,20	2,88	4,49	
ат. %	0,10	0,21	0,08	1,00	0,92	

На рис. 26 показано РЭМ-изображение неровной поверхности на дне заглибления ЗВ, а также СХРИ (б). В табл. 30 приведены концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в отмеченной площади.

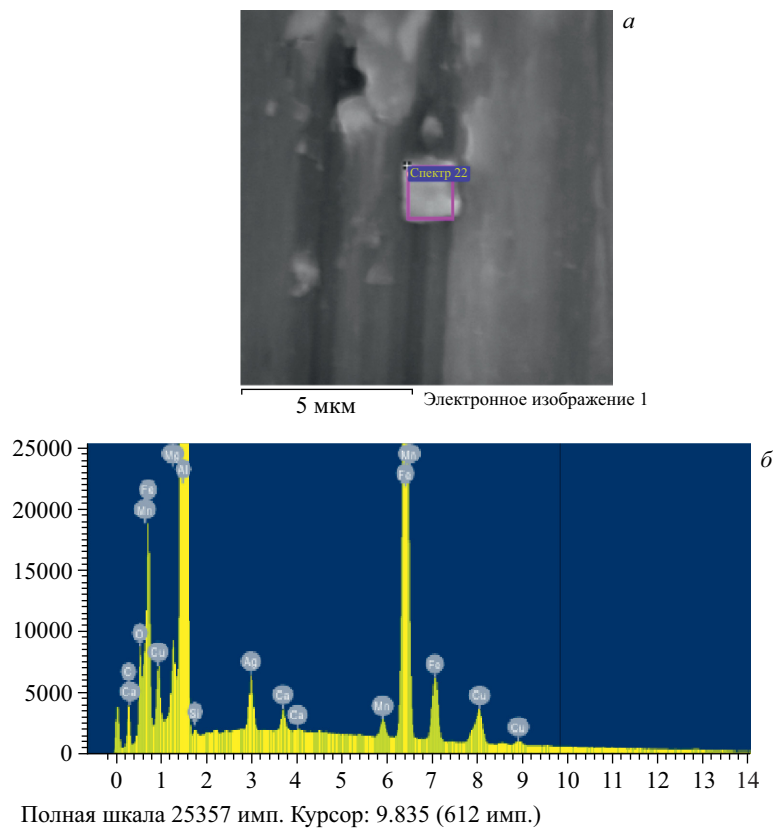


Рис. 26. РЭМ-изображение поверхности на дне заглибления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 30. Концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в отмеченной площади на рис. 26,а

Процент. содерж.	С, К	О, К	Mg, К	Al, К	Si, К
вес. %	11,37	6,09	0,94	55,71	0,14
ат. %	24,41	9,82	1,00	53,23	0,13
Процент. содерж.	Ca, К	Mn, К	Fe, К	Cu, К	Ag, L
вес. %	0,37	0,60	20,72	2,11	1,94
ат. %	0,24	0,28	9,26	0,86	0,46

На рис. 27 представлено РЭМ-изображение поверхности на дне заглибления ЗВ (а), а также СХРИ (б). В табл. 31 приведены концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади.

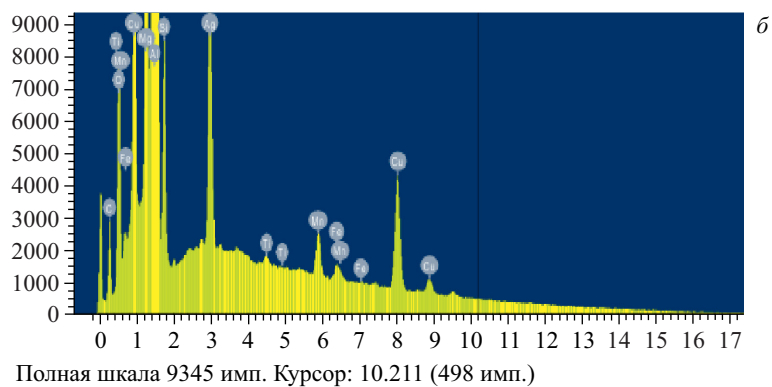
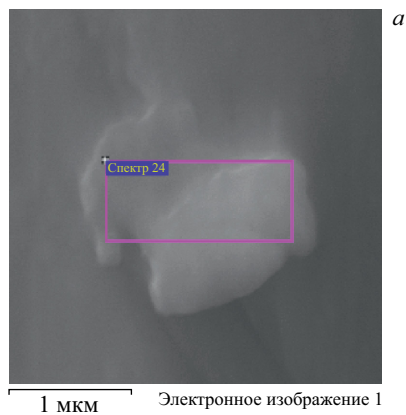


Рис. 27. РЭМ-изображение поверхности на дне заглибления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 31. Концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади на рис. 27,а

Процент. содерж.	С, К	О, К	Mg, К	Al, К	Si, К
вес. %	10,87	8,25	1,25	68,30	2,28
ат. %	21,54	12,27	1,23	60,22	1,93
Процент. содерж.	Ti, К	Mn, К	Fe, К	Cu, К	Ag, L
вес. %	0,08	0,68	0,23	3,92	4,13
ат. %	0,04	0,30	0,10	1,47	0,91

На рис. 28 показано РЭМ-изображение поверхности на дне заглибления ЗВ (а), а также СХРИ (б). В табл. 32 представлены концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в отмеченной площади.

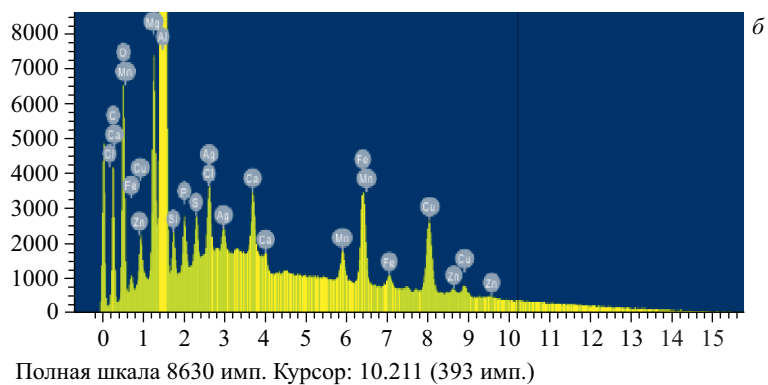
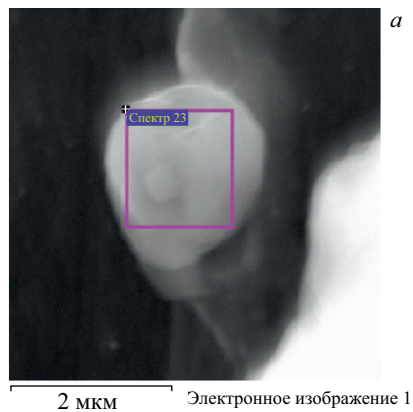


Рис. 28. РЭМ-изображение поверхности на дне заглибления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 32. Концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в отмеченной площади на рис. 28,а

Процент. содерж.	С, К	О, К	Mg, К	Al, К	Si, К	P, К	S, К
вес. %	27,31	13,75	1,84	44,17	0,64	0,79	0,58
ат. %	44,53	16,83	1,49	32,06	0,45	0,50	0,36
Процент. содерж.	Cl, К	Ca, К	Mn, К	Fe, К	Cu, К	Zn, К	Ag, L
вес. %	0,83	0,81	0,80	2,98	4,40	0,44	0,66
ат. %	0,46	0,39	0,28	1,05	1,36	0,13	0,12

На рис. 29 приведено РЭМ-изображение поверхности на дне заглибления ЗВ (а), а также СХРИ (б). В табл. 33 показаны концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади.

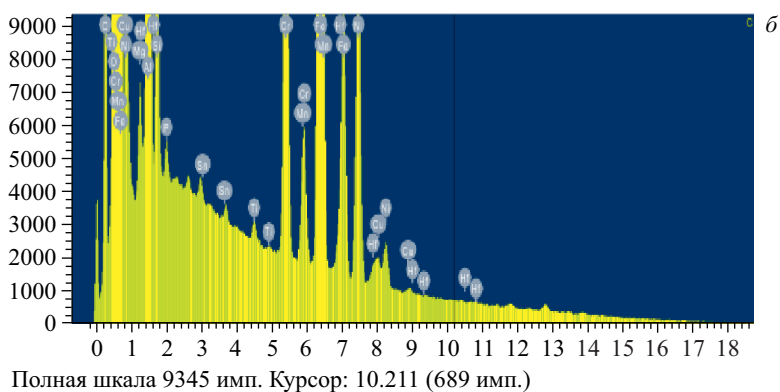
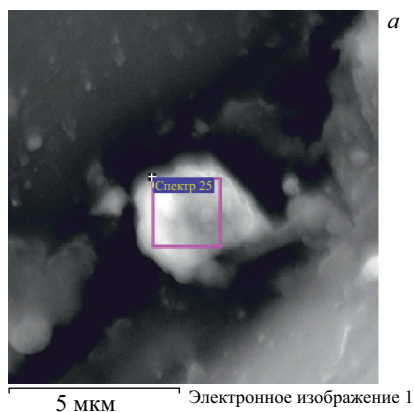


Рис. 29. РЭМ-изображение поверхности на дне заглибления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 33. Концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади на рис. 29,а

Процент. содерж.	С, К	О, К	Mg, К	Al, К	Si, К	P, К	Ti, К
вес. %	13,82	38,02	0,44	15,50	1,24	0,16	0,10
ат. %	24,41	50,42	0,39	12,19	0,94	0,11	0,04
Процент. содерж.	Cr, К	Mn, К	Fe, К	Ni, К	Cu, К	Sn, L	Hf, L
вес. %	4,61	0,49	19,52	4,94	0,43	0,06	0,66
ат. %	1,88	0,19	7,42	1,78	0,14	0,01	0,08

На рис. 30 представлено РЭМ-изображение поверхности на дне заглибления ЗВ (а), а также СХРИ (б). В табл. 34 приведены соответствующие концентрации элементов в отмеченной площади.

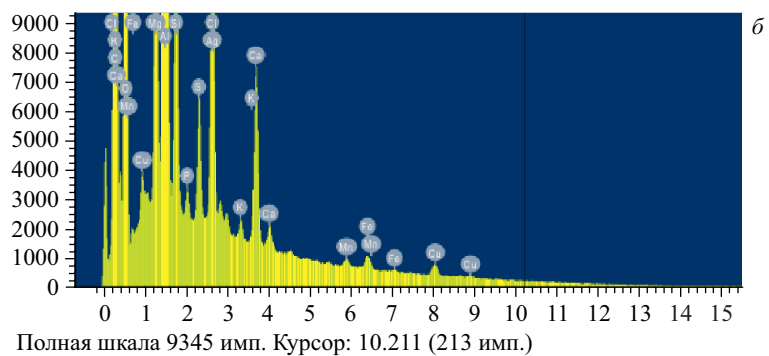
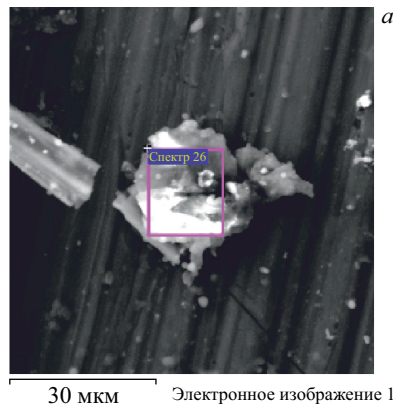


Рис. 30. РЭМ-изображение поверхности на дне заглибления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 34. Концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади на рис. 30,а

Процент. содерж.	С, К	О, К	Mg, К	Al, К	Si, К	Р, К	S, К
вес. %	58,73	26,67	1,54	9,15	0,85	0,11	0,40
ат. %	69,20	23,59	0,90	4,80	0,43	0,05	0,17
Процент. содерж.	Cl, К	К, К	Ca, К	Mn, К	Fe, К	Cu, L	Ag, L
вес. %	1,08	0,08	0,74	0,07	0,15	0,26	0,17
ат. %	0,43	0,03	0,26	0,02	0,04	0,06	0,02

На рис. 31 показано РЭМ-изображение поверхности на дне заглибления ЗВ с комплексом частиц (а), а также СХРИ (б). В табл. 35 представлены концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в отмеченной площади.

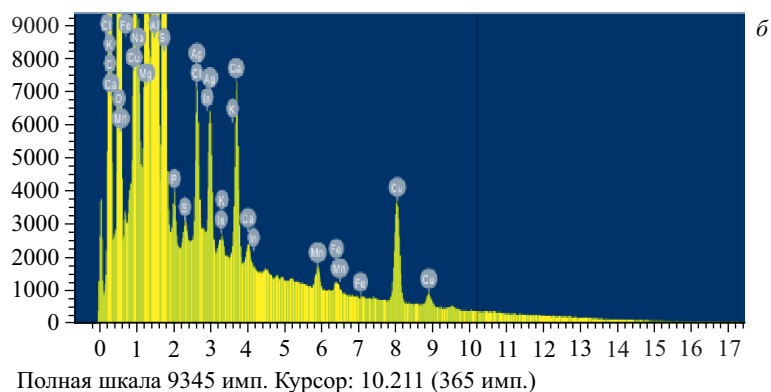
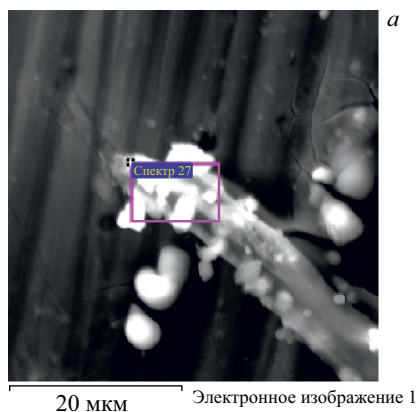


Рис. 31. РЭМ-изображение поверхности с комплексом частиц на дне заглибления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 35. Концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в отмеченной площади на рис. 31,а

Процент. содерж.	C, К	O, К	Na, К	Mg, К	Al, К	Si, К	P, К	S, К
вес. %	45,10	28,44	0,42	1,47	19,45	1,75	0,13	0,05
ат. %	58,19	27,55	0,28	0,94	11,17	0,97	0,06	0,02
Процент. содерж.	Cl, К	K, К	Ca, К	Mn, К	Fe, К	Cu, К	Ag, L	In, L
вес. %	0,32	0,02	0,44	0,13	0,06	1,28	0,74	0,19
ат. %	0,14	0,01	0,17	0,04	0,02	0,31	0,11	0,03

На рис. 32 показано РЭМ-изображение поверхности на дне заглибления ЗВ с частицей размером 20×10 мкм, а также СХРИ (б). В табл. 36 представлены концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади.

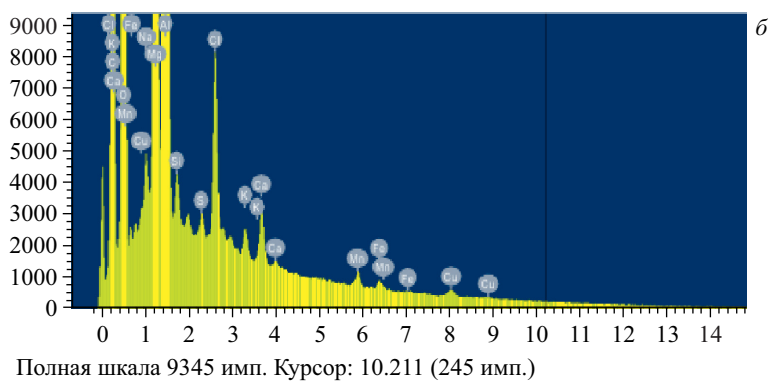
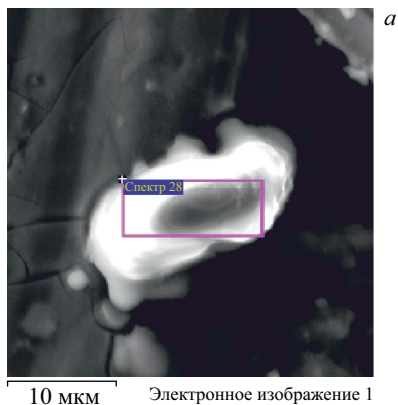


Рис. 32. РЭМ-изображение поверхности с частицей на дне заглибления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 36. Концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади на рис. 32,а

Процент. содерж.	С, К	О, К	Na, К	Mg, К	Al, К	Si, К	S, К
вес. %	41,18	44,12	0,25	3,87	9,33	0,13	0,06
ат. %	50,91	40,94	0,16	2,36	5,13	0,07	0,03
Процент. содерж.	Cl, К	K, К	Ca, К	Mn, К	Fe, К	Cu, К	
вес. %	0,51	0,09	0,19	0,10	0,07	0,10	
ат. %	0,21	0,02	0,07	0,03	0,02	0,02	

На рис. 33 приведено РЭМ-изображение поверхности на дне заглибления ЗВ круглой частицы диаметром $\approx 2,2$ мкм (а), а также СХРИ (б). В табл. 37 представлены концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в отмеченной площади.

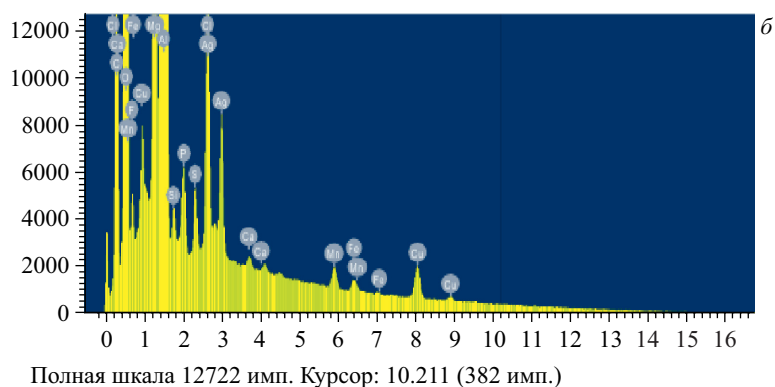
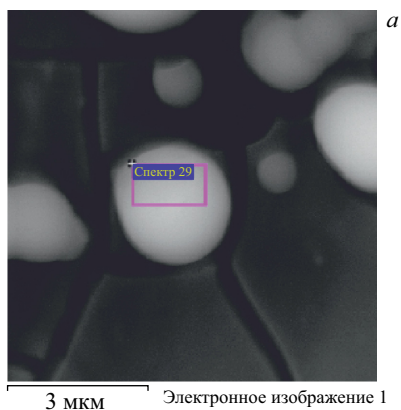


Рис. 33. РЭМ-изображение частицы на дне заглубления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 37. Концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в отмеченной площади на рис. 33,а

Процент. содерж.	С, К	О, К	F, К	Mg, К	Al, К	Si, К	P, К
вес. %	17,17	45,39	1,90	1,75	29,77	0,15	0,32
ат. %	25,41	50,43	1,77	1,28	19,61	0,10	0,18
Процент. содерж.	S, К	Cl, К	Ca, К	Mn, К	Fe, К	Cu, К	Ag, L
вес. %	0,24	1,17	0,04	0,19	0,11	0,64	1,16
ат. %	0,13	0,59	0,02	0,06	0,03	0,18	0,19

На рис. 34 показаны: РЭМ-изображение поверхности на дне заглубления ЗВ с комплексом частиц (а) и СХРИ (б). В табл. 38 представлены концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади.

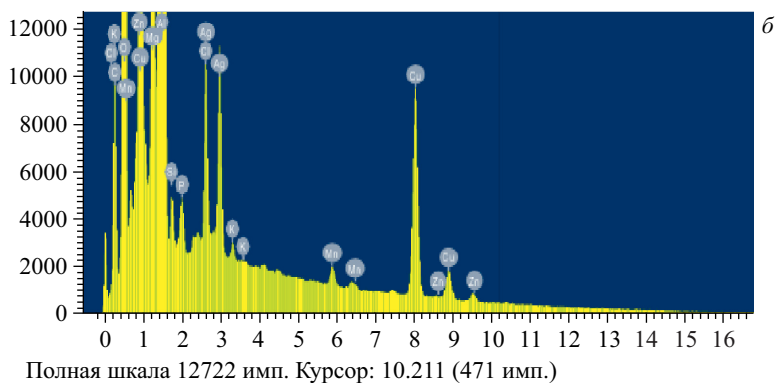
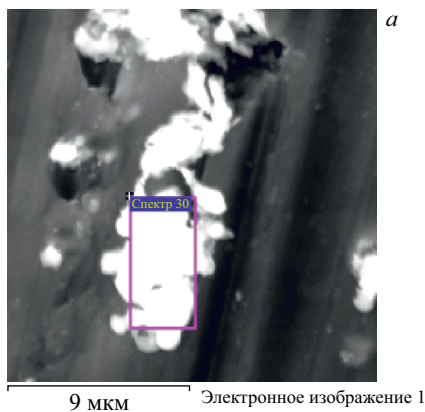


Рис. 34. РЭМ-изображение поверхности с комплексом частиц на дне заглабления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 38. Концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади на рис. 34,а

Процент. содерж.	С, К	О, К	Мg, К	Al, К	Si, К	Р, К
вес. %	19,89	33,11	1,09	37,90	0,25	0,25
ат. %	31,19	38,98	0,85	26,46	0,17	0,15
Процент. содерж.	Cl, К	К, К	Mn, К	Cu, К	Zn, К	Ag, L
вес. %	0,74	0,16	0,19	4,44	0,07	1,90
ат. %	0,39	0,08	0,07	1,32	0,02	0,33

На рис. 35 приведены: РЭМ-изображение частицы сложной структуры на дне заглабления ЗВ (а) и СХРИ (б). В табл. 39 описаны концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в отмеченной площади.

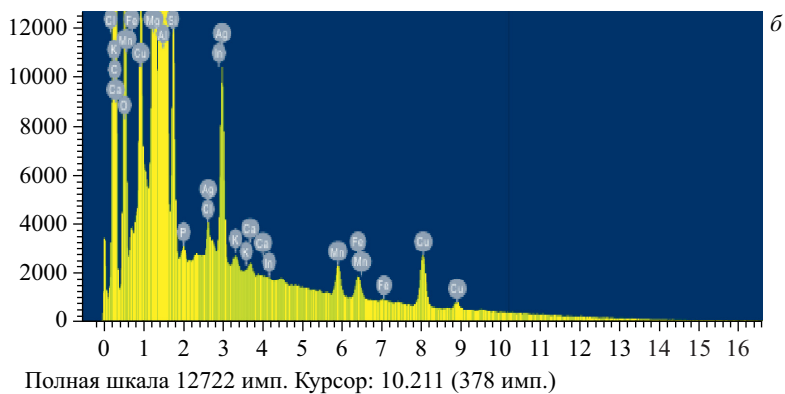
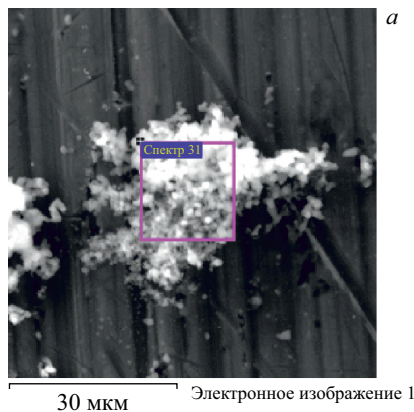


Рис. 35. РЭМ-изображение частицы сложной структуры на дне заглибления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 39. Концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в отмеченной площади на рис. 35,а

Процент. содерж.	C, К	O, К	Mg, К	Al, К	Si, К	P, К	Cl, К
вес. %	62,95	11,14	1,29	21,39	0,62	0,05	0,04
ат. %	76,63	10,18	0,77	11,59	0,32	0,02	0,02
Процент. содерж.	K, К	Ca, К	Mn, К	Fe, К	Cu, К	Ag, L	In, L
вес. %	0,03	0,03	0,21	0,16	0,74	1,13	0,23
ат. %	0,01	0,01	0,06	0,04	0,17	0,15	0,03

На рис. 36 представлены: РЭМ-изображение поверхности на дне заглибления ЗВ с комплексом частиц (а) и СХРИ (б). В табл. 40 приведены концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади.

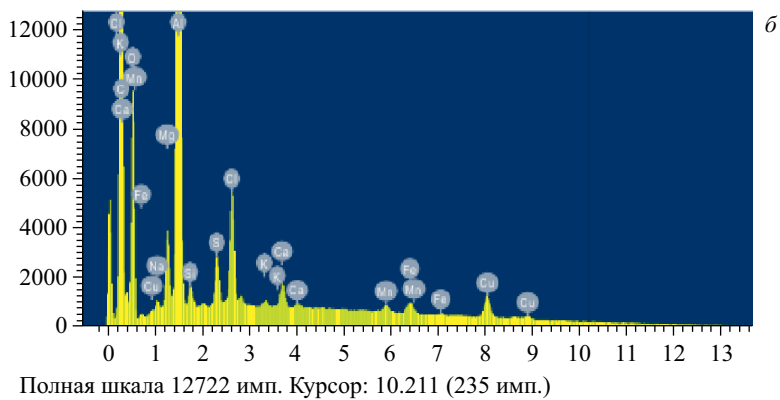
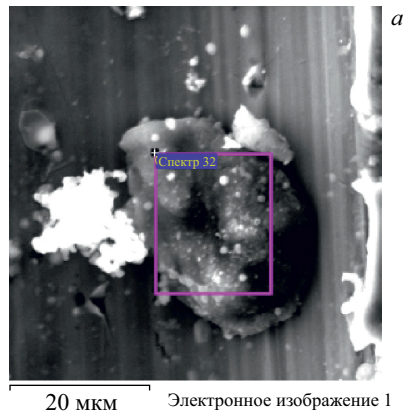


Рис. 36. РЭМ-изображение поверхности с комплексом частиц на дне заглубления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 40. Концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади на рис. 36,а

Процент. содерж.	С, К	О, К	Na, К	Mg, К	Al, К	Si, К	S, К
вес. %	61,52	24,06	0,19	0,88	8,48	0,23	0,57
ат. %	72,16	21,18	0,12	0,51	4,43	0,11	0,25
Процент. содерж.	Cl, К	K, К	Ca, К	Mn, К	Fe, К	Cu, К	
вес. %	1,42	0,08	0,37	0,21	0,42	1,56	
ат. %	0,56	0,03	0,13	0,05	0,11	0,35	

На рис. 37 представлены: РЭМ-изображение поверхности на дне заглубления ЗВ с комплексом частиц (а) и СХРИ (б). В табл. 41 описаны концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в отмеченной площади.

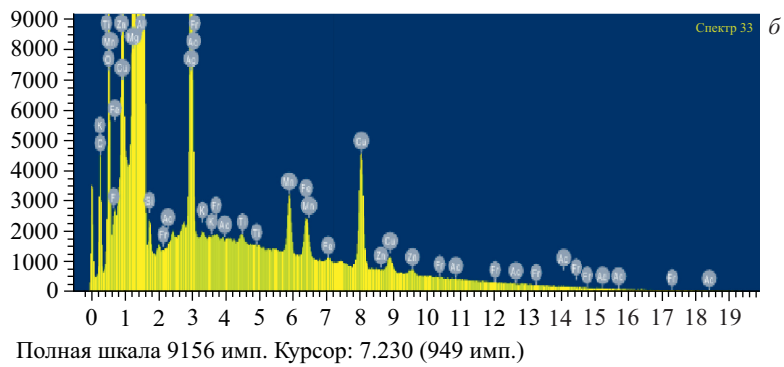
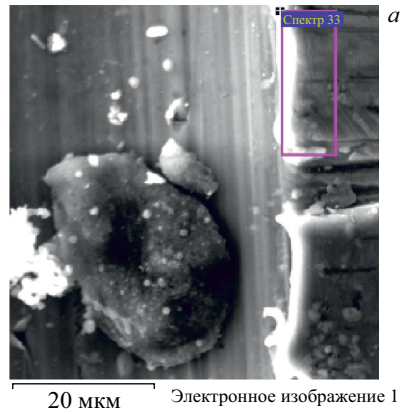


Рис. 37. РЭМ-изображение поверхности с комплексом частиц на дне заглабления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 41. Концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в отмеченной площади на рис. 37,а

Процент. содерж.	С, К	О, К	F, К	Mg, К	Al, К	Si, К	К, К	Ti, К
вес. %	15,14	8,47	0,23	1,23	62,94	0,28	0,22	0,06
ат. %	29,10	12,23	0,27	1,16	53,85	0,23	0,13	0,03
Процент. содерж.	Mn, К	Fe, К	Cu, К	Zn, К	Ag, L	Fr, L	Ac, L	
вес. %	0,79	0,56	3,18	0,02	5,06	0,43	1,39	
ат. %	0,33	0,23	1,15	0,01	1,08	0,04	0,14	

На рис. 38 приведены: РЭМ-изображение поверхности на дне заглабления ЗВ с плоской структурой (а) и СХРИ (б). В табл.42 представлены концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади.

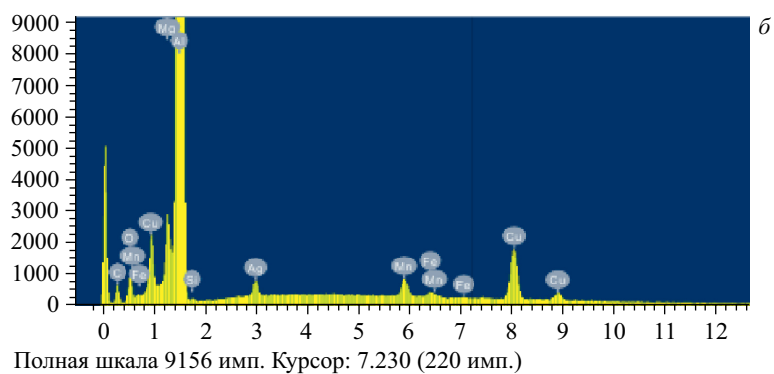
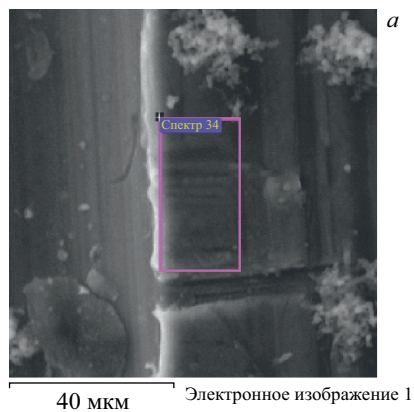


Рис. 38. РЭМ-изображение поверхности с плоской структурой на дне заглабления 3В (а) и СХРИ (б)

Таблица 42. Концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади на рис. 38,а

Процент. содерж.	С, К	О, К	Mg, К	Al, К	Si, К
вес. %	17,10	7,82	1,25	68,69	0,21
ат. %	31,01	10,65	1,12	55,46	0,16
Процент. содерж.	Mn, К	Fe, К	Cu, К	Ag, L	
вес. %	0,65	0,17	3,17	0,96	
ат. %	0,25	0,07	1,09	0,19	

На рис. 39 приведены: РЭМ-изображение поверхности на дне заглабления 3В с плоской структурой (а) и СХРИ (б). В табл. 43 показаны концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в отмеченной площади.

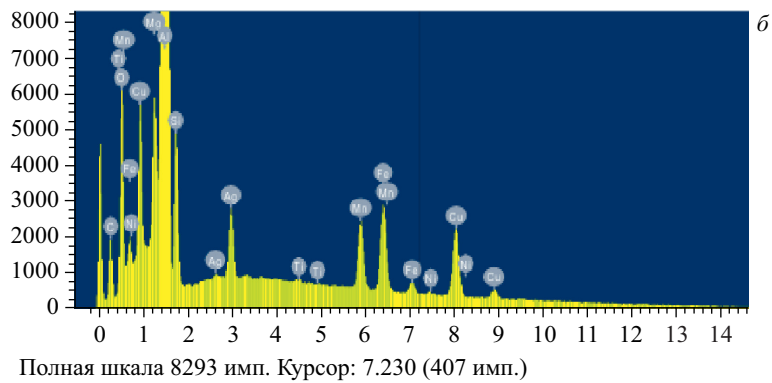
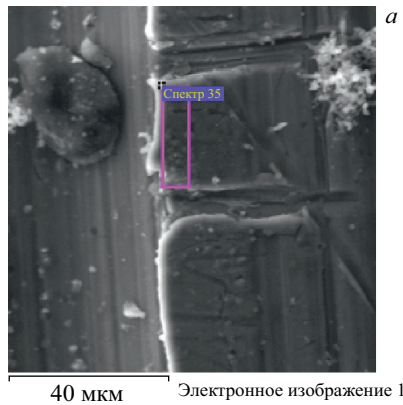


Рис. 39. РЭМ-изображение поверхности с плоской структурой на дне заглабления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 43. Концентрации элементов, измеренные с помощью РМЗА в отмеченной площади на рис. 39,а

Процент. содерж.	С, К	О, К	Mg, К	Al, К	Si, К	Ti, К
вес. %	12,82	11,85	1,04	61,76	2,42	0,04
ат. %	24,36	16,89	0,98	52,22	1,97	0,02
Процент. содерж.	Mn, К	Fe, К	Ni, К	Cu, К	Ag, L	
вес. %	1,77	2,53	0,11	3,81	1,85	
ат. %	0,73	1,03	0,04	1,37	0,39	

На рис. 40 представлены: РЭМ-изображение поверхности на дне заглабления ЗВ со сложной структурой (а) и СХРИ (б). В табл. 44 приведены концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади.

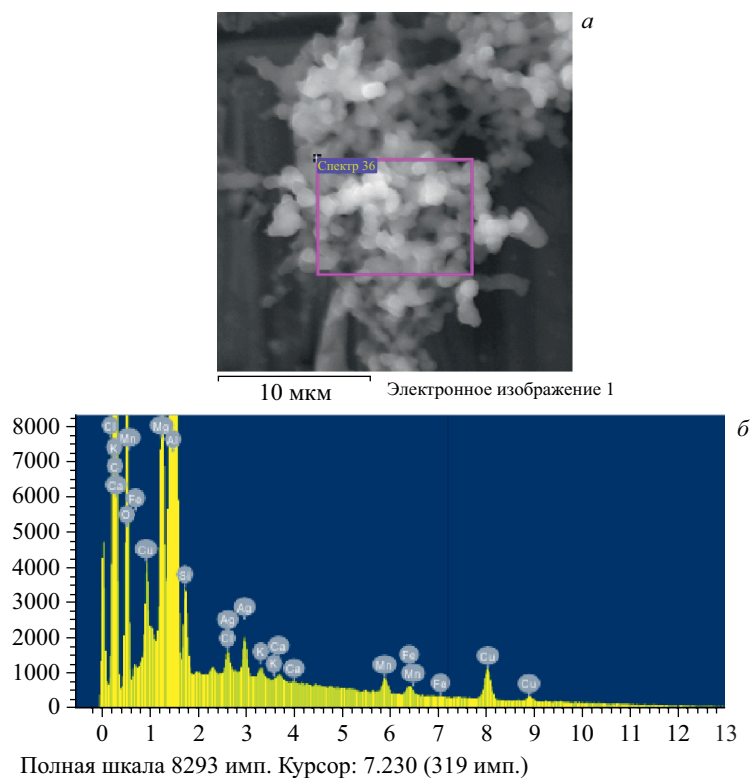


Рис. 40. РЭМ-изображение поверхности со сложной структурой на дне заглабления ЗВ (а) и СХРИ (б)

Таблица 44. Концентрации элементов, измеренные методом РМЗА в отмеченной площади на рис. 40,а

Процент. содерж.	С, К	О, К	Mg, К	Al, К	Si, К	Cl, К
вес. %	64,80	13,26	1,01	19,06	0,33	0,08
ат. %	76,98	11,83	0,59	10,08	0,17	0,03
Процент. содерж.	К, К	Ca, К	Mn, К	Fe, К	Cu, К	Ag, L
вес. %	0,06	0,03	0,16	0,11	0,73	0,37
ат. %	0,02	0,01	0,04	0,03	0,16	0,05

На рис. 41 для наглядности представлена концентрация химических элементов для задней втулки, усредненная по 23 измерениям (точкам и площадям). Для усреднения использовались данные, представленные в табл. 26–44. В дальнейшем мы будем использовать выражение «усредненная концентрация элементов».

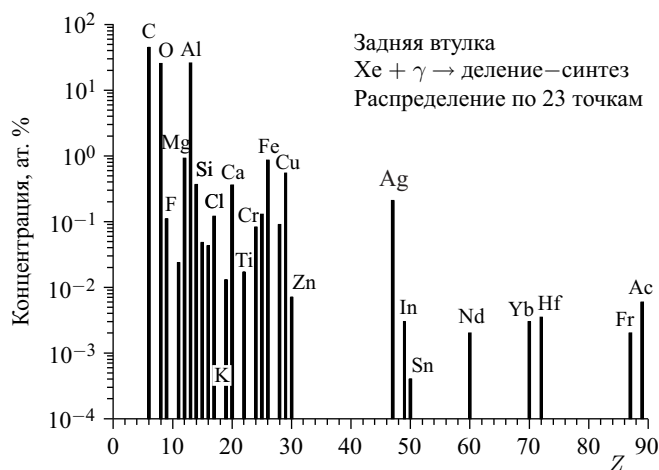


Рис. 41. Концентрация химических элементов для задней втулки, усредненная по 23 точкам (см. табл. 26–44)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

1. Методами РЭМ, РМЗА и с помощью СХРИ на поверхностях, имевших контакт с ксеноном, и в микрочастицах обнаружены следующие ранее отсутствовавшие химические элементы: ${}^9\text{F}$, ${}^{11}\text{Na}$, ${}^{15}\text{P}$, ${}^{16}\text{S}$, ${}^{17}\text{Cl}$, ${}^{19}\text{K}$, ${}^{20}\text{Ca}$, ${}^{22}\text{Ti}$, ${}^{24}\text{Cr}$, ${}^{25}\text{Mn}$, ${}^{26}\text{Fe}$, ${}^{27}\text{Co}$, ${}^{28}\text{Ni}$, ${}^{29}\text{Cu}$, ${}^{30}\text{Zn}$, ${}^{35}\text{Br}$, ${}^{38}\text{Sr}$, ${}^{47}\text{Ag}$, ${}^{49}\text{In}$, ${}^{50}\text{Sn}$, ${}^{51}\text{Sb}$, ${}^{60}\text{Nd}$, ${}^{70}\text{Yb}$, ${}^{72}\text{Hf}$, ${}^{73}\text{Ta}$, ${}^{74}\text{W}$, ${}^{82}\text{Pb}$, ${}^{83}\text{Bi}$, ${}^{87}\text{Fr}$, ${}^{89}\text{Ac}$.

2. Предыдущий эксперимент [35, 36] был выполнен с аналогичной камерой высокого давления (XeHPC) при начальном давлении ксенона 270 бар. Камера с ксеноном облучалась в течение 43 ч ($1,55 \cdot 10^5$ с) тормозными γ -квантами с максимальной энергией 10 МэВ при средних интенсивностях пучка электронов 20–22 мкА [35, 36]. Измерения, проведенные методами РЭМ и РМЗА, показали наличие на поверхностях и в обнаруженных микрочастицах ранее отсутствовавших химических элементов, таких как: ${}^7\text{N}$, ${}^9\text{F}$, ${}^{11}\text{Na}$, ${}^{15}\text{P}$, ${}^{16}\text{S}$, ${}^{17}\text{Cl}$, ${}^{19}\text{K}$, ${}^{20}\text{Ca}$, ${}^{22}\text{Ti}$, ${}^{23}\text{V}$, ${}^{24}\text{Cr}$, ${}^{25}\text{Mn}$, ${}^{26}\text{Fe}$, ${}^{27}\text{Co}$, ${}^{28}\text{Ni}$, ${}^{29}\text{Cu}$, ${}^{30}\text{Zn}$, ${}^{32}\text{Ge}$, ${}^{38}\text{Sr}$, ${}^{40}\text{Zr}$, ${}^{41}\text{Nb}$, ${}^{42}\text{Mo}$, ${}^{47}\text{Ag}$, ${}^{48}\text{Cd}$, ${}^{51}\text{Sb}$, ${}^{56}\text{Ba}$, ${}^{73}\text{Ta}$, ${}^{74}\text{W}$, ${}^{79}\text{Au}$, ${}^{81}\text{Tl}$, ${}^{82}\text{Pb}$.

3. Если сравнивать вновь образовавшиеся элементы, полученные в [35, 36] и в данном эксперименте, то в последнем отсутствуют такие элементы, как ${}^7\text{N}$, ${}^{23}\text{V}$, ${}^{32}\text{Ge}$, ${}^{40}\text{Zr}$, ${}^{41}\text{Nb}$, ${}^{42}\text{Mo}$, ${}^{48}\text{Cd}$, ${}^{56}\text{Ba}$, ${}^{79}\text{Au}$, ${}^{81}\text{Tl}$, зато присутствуют элементы: ${}^{35}\text{Br}$, ${}^{49}\text{In}$, ${}^{50}\text{Sn}$, ${}^{60}\text{Nd}$, ${}^{70}\text{Yb}$, ${}^{72}\text{Hf}$, ${}^{83}\text{Bi}$, ${}^{87}\text{Fr}$, ${}^{89}\text{Ac}$.

4. Несмотря на имеющуюся разницу в наборах элементов, в целом характерные особенности в распределениях химических элементов как по кон-

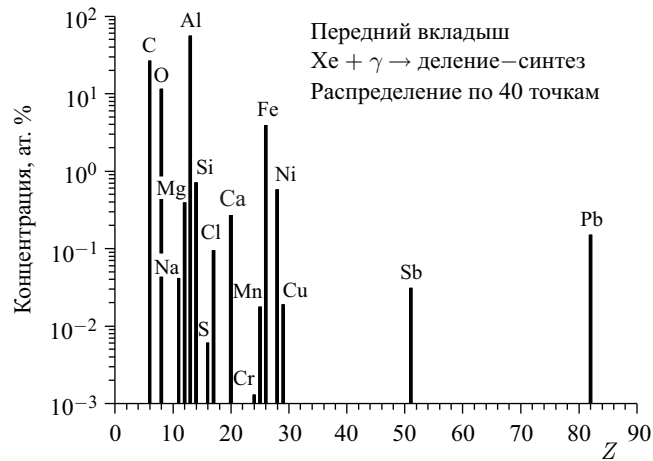


Рис. 42. Усредненная концентрация элементов для переднего алюминиевого вкладыша по 40 точкам (данный эксперимент, табл. 1–7)

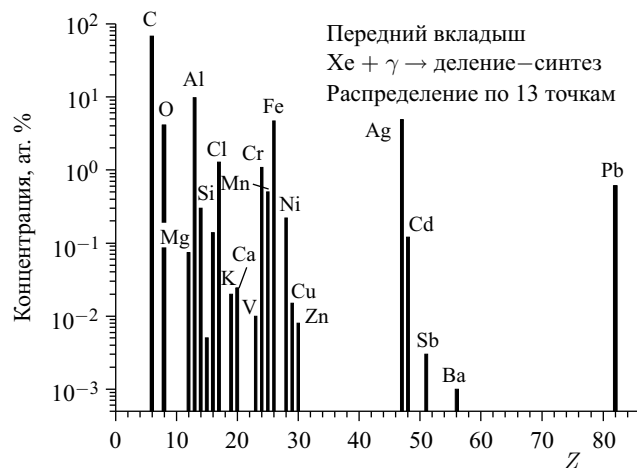


Рис. 43. Усредненная концентрация элементов для переднего алюминиевого вкладыша по 13 точкам (статья [36], табл. 1–7)

центрациям, так и по группам в зависимости от заряда ядра Z сохраняются: имеется группа легких элементов до $Z = 30$, группа средних элементов с Z от 40 до 60 и группа тяжелых элементов с Z более 70. На рис. 42 и 43 изображены для сравнения графики усредненных концентраций химических элементов для передних алюминиевых вкладышей, полученные в данном эксперименте (усреднение проводилось по измерениям, представленным в табл. 1–7)

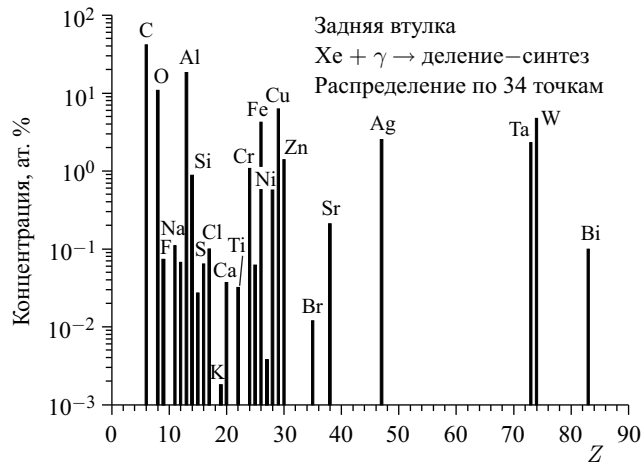


Рис. 44. Усредненная концентрация элементов для задней втулки по 34 точкам (данный эксперимент, табл. 9–21)

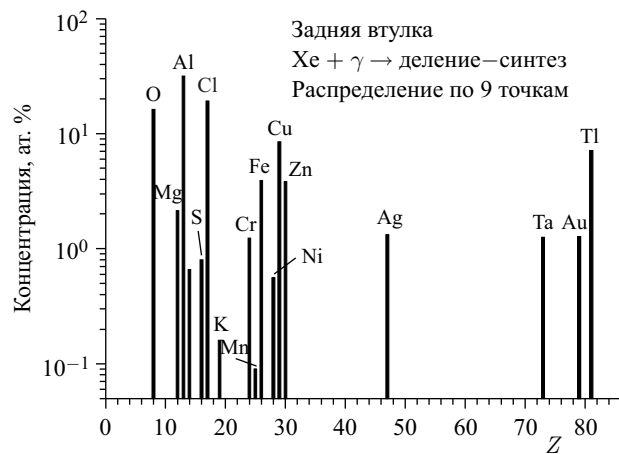


Рис. 45. Усредненная концентрация элементов для задней втулки по 9 точкам (статья [35], табл. 15, 16 и 18–21)

и в эксперименте [36] (усреднение проводилось по 13 точкам, данные по которым представлены в табл. 1–6). На рис. 44 и 45 показаны для сравнения графики усредненных концентраций химических элементов для задних втулок, полученные в данном эксперименте (усреднение проводилось по данным, представленным в табл. 9–21) и в эксперименте [35] (усреднение проводилось по 9 точкам, данные по которым представлены в табл. 15, 16 и 18–21).

5. Результаты двух независимых исследований в разных аналитических центрах: НЦВО и НИИЯФ МГУ — достаточно схожи как по наборам элементов, особенно в области $Z \leq 30$, так и по характерным особенностям в распределениях по концентрациям химических элементов (рис. 41 и 44). Имеющиеся различия в наборах по элементам можно объяснить отличием в объектах исследования, так как измерялись разные частицы и разные поверхности образцов.

6. Особый интерес вызывает факт обнаружения элементов франция (${}_{87}\text{Fr}$) и актиния (${}_{89}\text{Ac}$) (рис. 37 и табл. 41) с концентрациями, отличающимися в $K_{\text{Ac}}/K_{\text{Fr}} = 3,5$ раза. Франций и актиний не имеют стабильных изотопов. Самый долгоживущий изотоп франция — ${}^{223}_{87}\text{Fr}$ — имеет период полураспада 21,8 мин. ${}^{221}_{87}\text{Fr}$ имеет период полураспада 4,9 мин. Поэтому ${}_{87}\text{Fr}$ может появиться в рентгеновском спектре только как дочерний элемент. В нашем случае, из-за временных задержек с рентгеновскими измерениями, Fr может появиться только как продукт α -распада Ac: либо из ${}^{227}_{89}\text{Ac}$, либо из ${}^{225}_{89}\text{Ac}$. Это самые долгоживущие изотопы актиния. ${}^{227}_{89}\text{Ac}$ имеет период полураспада 21,8 лет, а ${}^{225}_{89}\text{Ac}$ — 10 сут.

${}^{227}_{89}\text{Ac}$ в основном (98,6 %) в процессе β -распада превращается в ${}^{227}_{90}\text{Th}$. Торий в рентгеновском спектре не наблюдается. Кроме того, поскольку ${}^{227}_{89}\text{Ac}$ и ${}^{223}_{87}\text{Fr}$ находятся в «вековом равновесии», то концентрации их атомов должны соотноситься как периоды их полураспадов, естественно, с учетом коэффициента α -распада (1,4 %): $T_{1/2}({}^{227}_{89}\text{Ac})/T_{1/2}({}^{223}_{87}\text{Fr}) = 5,26 \cdot 10^5$. По этим двум причинам франций вряд ли является продуктом распада ${}^{227}_{89}\text{Ac}$.

Остается ${}^{225}_{89}\text{Ac}$, у которого коэффициент α -распада во ${}^{221}_{87}\text{Fr}$ равен 100 %. Отношение периодов полураспада велико: $T_{1/2}({}^{225}_{89}\text{Ac})/T_{1/2}({}^{221}_{87}\text{Fr}) = 2940$. Если все-таки допустить, что ${}^{225}_{89}\text{Ac} \rightarrow {}^{221}_{87}\text{Fr}$, то мы должны наблюдать в рентгеновском спектре всю цепочку последовательно распадающихся дочерних элементов ${}^{221}_{87}\text{Fr}$: астат \rightarrow висмут \rightarrow полоний \rightarrow свинец. Объяснением, почему мы не видим этих элементов, является то, что, во-первых, актиний и франций наблюдаются на уровне чувствительности применяемой методики, и, во-вторых, дочерние элементы франция могут покидать поверхность, область рентгеновского измерения, за счет α -отдачи. У ${}^{221}_{87}\text{Fr}$, ${}^{217}_{87}\text{At}$, ${}^{213}_{84}\text{Po}$ α -распад происходит с вероятностью 100 %.

Таким образом, настоящий эксперимент и проведенные измерения подтверждают, что длительное облучение ксенона при давлении 250–270 бар тормозными γ -квантами с максимальной энергией $E_{\text{max}} = 10$ МэВ приводит к образованию других химических элементов с зарядом ядра вплоть до $Z = 89$ (Ac).

Авторы выражают благодарность операторам микротрона МТ-25 А. Г. Белову, В. А. Семину и С. И. Алексею за обеспечение устойчивой работы ускорителя.

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. 22001. P. 1–6.
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. 42002. P. 1–6.
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 P15-2012-50. 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 // *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 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 P15-2013-15. Дубна, 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 γ -Quanta in Dense Deuterium Gas // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2013. V. 10, No. 7. P. 820–832; Препринт ОИЯИ P15-2013-20. Дубна, 2013.
9. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Properties of Hydrogen and Its Isotopes under High Pressure, and Technological Applications. Dubna: JINR, 2013. 320 p.
10. *Дидык А. Ю., Вишневецкий П., Вилчиньска-Китовска Т., Шилов В. М.* Изменение химического состава под действием гамма-квантов при ядерных реакциях в насыщенном дейтерием палладии // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования.* 2014. №11. С. 11–13.
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 // *J. Surface Investigation. X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques.* 2013. V. 7, No. 2. P. 239–247.

12. Дидык А. Ю., Вишневецки Р., Вильчиньска-Китовска Т. Реакции фоторасщепления дейтрона, термоядерного синтеза и деления ядер, индуцированные γ -квантами в насыщенном дейтерием палладии и плотном газообразном дейтерии с синтезом новых структур // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2013. № 3. С. 1–9.
13. Didyk A. Yu., Wiśniewski R., Wilczynska-Kitowska T., Shilov V. M. Changes in the Chemical Composition of Nuclear Reaction Products Irradiated with 10 MeV γ Quanta in Deuterium Saturated Palladium // J. Surface Investigation. X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2014. V. 8, No. 6. P. 1100–1112.
14. Дидык А. Ю., Вишневецкий Р. 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. 613–631; Препринт ОИЯИ Р15-2012-63. Дубна, 2012.
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 // J. Phys. Sci. Appl. 2013. V. 3, No. 4. P. 209–217.
16. Дидык А. Ю., Вишневецкий Р. 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 Р. Результаты по облучению алюминия и гомогенного сплава YMn_2 γ -квантами с энергией 23 МэВ в атмосфере молекулярного дейтерия при давлении 2 кбар // Письма в ЭЧАЯ. 2014. Т. 11, № 3(187). С. 284–298; Препринт ОИЯИ Р15-2013-41. Дубна, 2013.
18. Дидык А. Ю., Вишневецки Р. 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.
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. 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 Bremsstrahlung γ 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.
21. Дидык А. Ю., Вишневецкий Р. 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.
22. Дидык А. Ю., Вишневецкий Р. Ядерные реакции с синтезом микрочастиц в водороде при давлении 3,5 кбар в присутствии олова при облучении тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2014-89. Дубна, 2014.

23. Дидык А. Ю., Вишневецкий Р. 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. Препринт ОИЯИ Р15-2014-88. Дубна, 2014
24. Дидык А. Ю., Вишневецкий Р., Вилчиньска-Китовска Т., Исхакова Л. Д. Синтез микрочастиц в плотном водороде при давлении 3,5 кбар с оловянным стержнем под действием тормозных γ -квантов с пороговой энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2014-104. Дубна, 2014.
25. Didyk A. Yu., Wiśniewski R. Synthesis of Microobjects in 1 kbar Hydrogen Induced by 10 MeV Bremsstrahlung γ 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.
26. Didyk A. Yu., Wiśniewski R. Synthesis of Microparticles in 1 kbar Hydrogen Induced by 10 MeV Bremsstrahlung γ Quanta in a Reaction Chamber (Part 2) // Phys. Part. Nucl. Lett. 2015. V. 12, No. 1. P. 145–165.
27. Didyk A. Yu., Wiśniewski R., Wilczynska-Kitowska T. The Carbon-Based Structures Synthesized through Nuclear Reactions in Helium at 1.1 kbar Pressure under Irradiation with Braking γ -Rays of 10 MeV Threshold Energy // Eur. Phys. Lett. 2015. V. 109. 22001. P. 1–6.
28. Дидык А. Ю., Вишневецкий 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.
29. Дидык А. Ю., Вишневецкий 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.
30. Дидык А. Ю., Вишневецкий Р. Синтез новых структур и образование химических элементов в плотном гелии при давлении 3,05 кбар при облучении тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2014-87. Дубна, 2014.
31. Дидык А. Ю., Вишневецкий Р., Семин В. А. Синтез микрочастиц в гелии при давлении 2,4 кбар с палладиевым стержнем внутри ННРС, облученной тормозными γ -квантами с максимальной энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2015-33. Дубна, 2015.
32. 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 γ -квантов с максимальной энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2015-34. Дубна, 2015.
33. Дидык А. Ю. 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 // Физика и химия обработки материалов. 2015. № 2. С. 5–19.
34. Didyk A. Yu., Wiśniewski R. Phenomenological Nuclear-Reaction Description in Deuterium-Saturated Palladium and Synthesized Structure in Dense Deuterium Gas

under γ -Quanta Irradiation // Phys. Part. Nucl. Lett. 2013. V. 10, No. 3. P. 437–457; JINR Preprint E15-2012-35. Dubna, 2012.

35. Дидык А. Ю., Гульбежян Г. Г., Мышинский Г. В. РЭМ- и РМЗА-исследования синтезированных частиц и объектов при облучении плотного ксенона (270 атм) тормозными γ -квантами с максимальной энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2015-71. Дубна, 2015.
36. Дидык А. Ю., Гульбежян Г. Г., Мышинский Г. В. Исследование изменений элементного состава и структуры поверхностей при облучении плотного ксенона (270 атм) тормозными γ -квантами с максимальной энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2015-72. Дубна, 2015.
37. Физические величины: Справочник / Под ред. И. С. Григорьева и Е. З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1233 с.
38. Голашвили Т. В., Чечев В. П., Бадиков С. А. Справочник нуклидов. М.: Изд. дом. МЭИ, 2011. 461 с.

Получено 14 января 2016 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 25.05.2016.

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

Усл. печ. л. 3,12. Уч.-изд. л. 3,76. Тираж 200 экз. Заказ № 58823.

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

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/