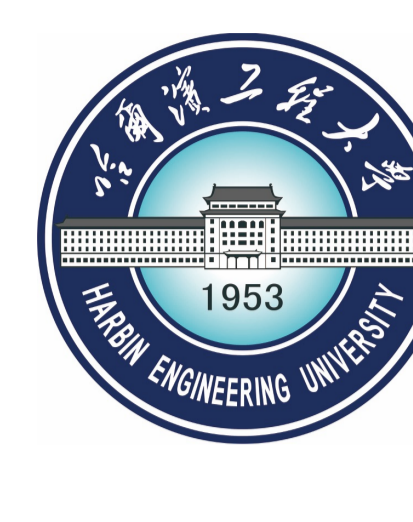


# Анализ приповерхностных слоев быстрозатвердевшего сплава Al-Mg-Li-Sc-Zr методом мгновенных ядерных реакций после высокотемпературного отжига

И.А. Столяр\*, В.Г. Шепелевич,  
И.И. Ташлыкова-Бушкевич,  
E. Wendler, R. Wu

uyluana@gmail.com



seit 1558

## Введение

Сплавы системы Al-Mg-Li широко используются в авиационной и аэрокосмической технике благодаря весовой эффективности, поэтому наблюдается возрастающий интерес к этим материалам, полученным при неравновесных условиях. В результате применения методов высокоскоростной кристаллизации возможно создание композиций, характеризующихся уникальным сочетанием физико-химических и механических свойств. Вместе с тем структура таких сплавов является неравновесной и при высоких температурах отжига наблюдается проблема деградации свойств с временем выдержки. Поэтому для эксплуатации БЗ сплавов при повышенных рабочих температурах необходимо исследовать стабильность микроstructures и, следовательно, свойств материалов после термообработки.

## Цель

Изучить влияние высокотемпературного отжига на композиционный состав поверхности БЗ фольг сплава Al-Mg-Li-Sc-Zr (1421), включая исследование поверхностной сегрегации лития как функции времени выдержки и определение взаимосвязи между структурно-фазовым составом и микротвердостью отожженных образцов.

## Экспериментальные условия

Объект исследования	Быстрозатвердевшие (БЗ) фольги сплава 1421: Al-5.8 ат. % Mg-8.1 ат. % Li-0.03 ат. % Zr-0.11 ат. % Sc; ширина фольг составляла 5-10 мм, толщина - 40-80 мкм
Метод получения фольг	Капля расплава выплескивалась на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного цилиндра
Скорость охлаждения расплава	$\sim 10^6$ K/c
Методы исследования фольг:	<p>Изучение поверхности отожженных фольг проводилось с помощью растрового электронного микроскопа LEO1455VP с приставкой "HKL CHANNEL5"</p> <p>Ядерная реакция <math>{}^7\text{Li}(p,\alpha){}^4\text{He}</math>, энергия протонов с энергией 1.4 МэВ. Измерения проводились на ускорителе-тандентроне (ЗМВ) JULIA, разрешение детектора 15 кэВ. Детектор находился под углом <math>\theta = 170^\circ</math>. Диаметр падающего на мишень пучка составлял 1 мм.</p> <p>Фольги отжигались при температуре <math>380^\circ\text{C}</math> в течение 1 ч, 2 ч и 8 ч</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Метод растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА)</li> <li>Метод мгновенных ядерных реакций (МЯР) &amp; SIMNRA</li> <li>Изотермический отжиг</li> </ul>	

## Выводы

Проведено элементное картирование поверхности фольг БЗ сплава 1421, отожженных при  $380^\circ\text{C}$  в течение 1ч. Обнаружена тенденция роста содержания магния и скандия на 9 и 27% соответственно. Концентрация циркония остаётся неизменной. Установлено, что распределение лития характеризуется значительным пиком в приповерхностном слое до 1 мкм, достигающим 40 ат.%. С ростом времени выдержки до 8ч толщина слоя, обогащенного литием, увеличивается в 8 раз. Более интенсивная диффузия лития в глубину фольг обнаружена в области поверхности А.

## Результаты

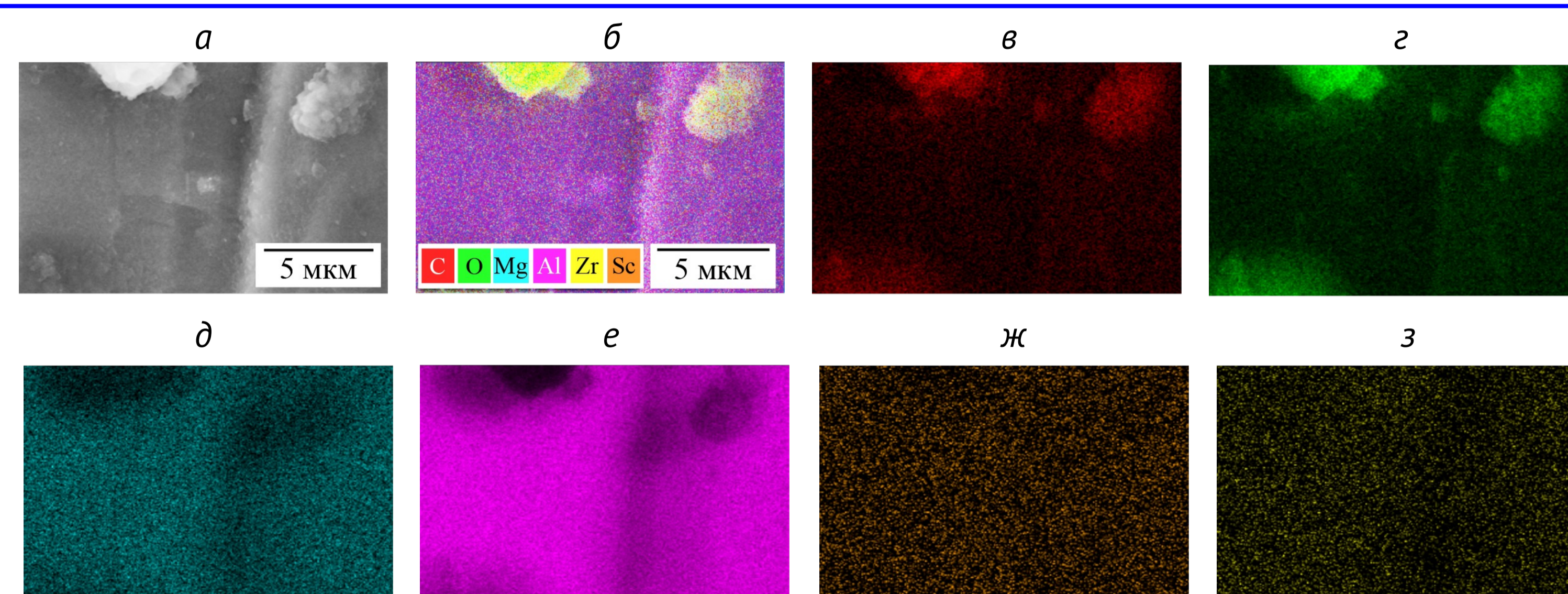


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение контактирующей с воздухом поверхности БЗ фольги сплава 1421, отожженной при  $380^\circ\text{C}$  в течение 1 ч: РЭМ-изображение во вторичных электронах участка фольги (а) и соответствующая РСМА карта распределения основных химических элементов по поверхности (б), а также картирование, полученное в характеристическом рентгеновском излучении атомов углерода (в), кислорода (г), магния (д), алюминия (е), циркония (ж) и скандия (з)

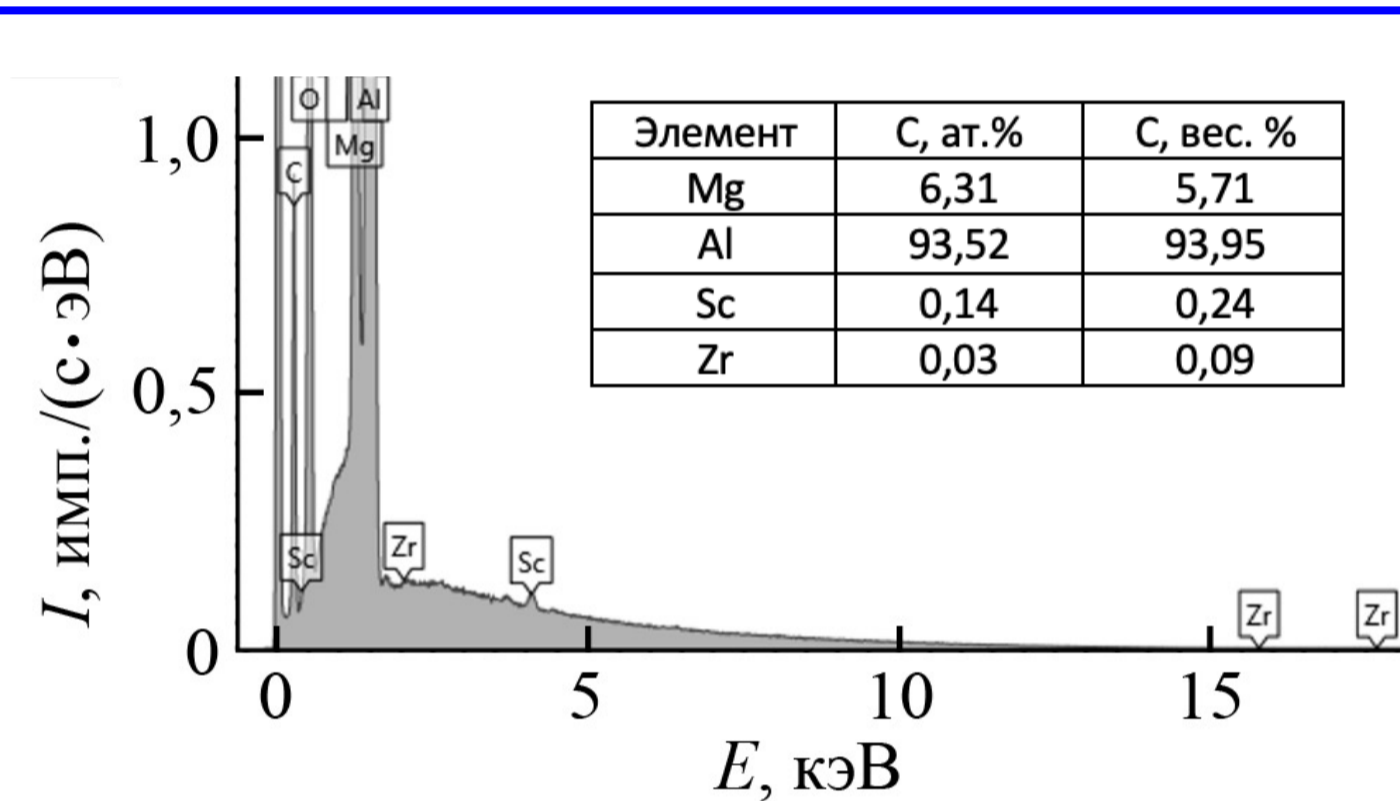


Рис. 2. РСМА спектр, полученный для участка фольги сплава 1421 на рис. 1 а, с характеристическими линиями химических элементов

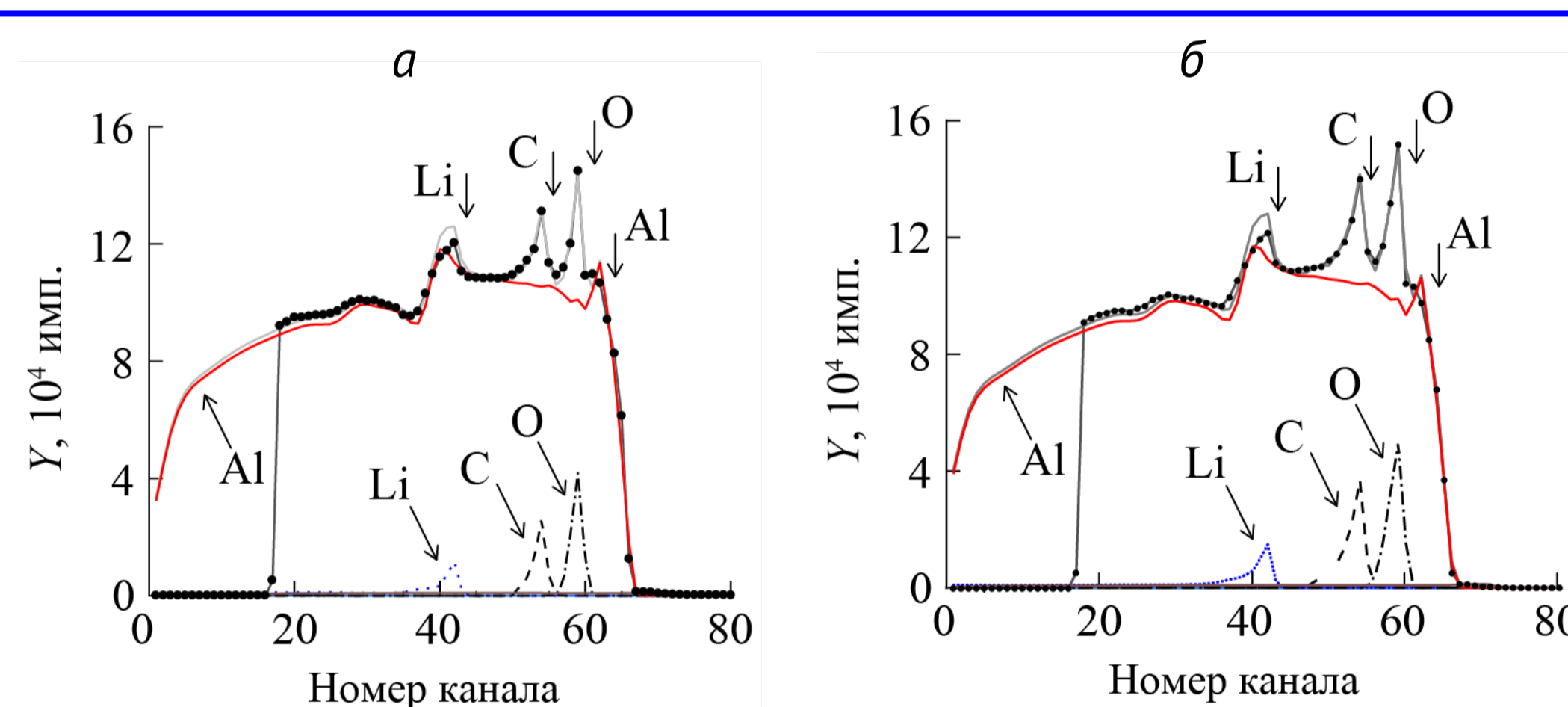


Рис. 3. Экспериментальные спектры протонов с энергией 1,4 МэВ, обратно рассеянных БЗ фольгой сплава 1421, отожженной при  $380^\circ\text{C}$  в течение 1 ч, представленные с моделированием (серая линия): а - поверхность А (drum-side), б - поверхность Б (air-side)

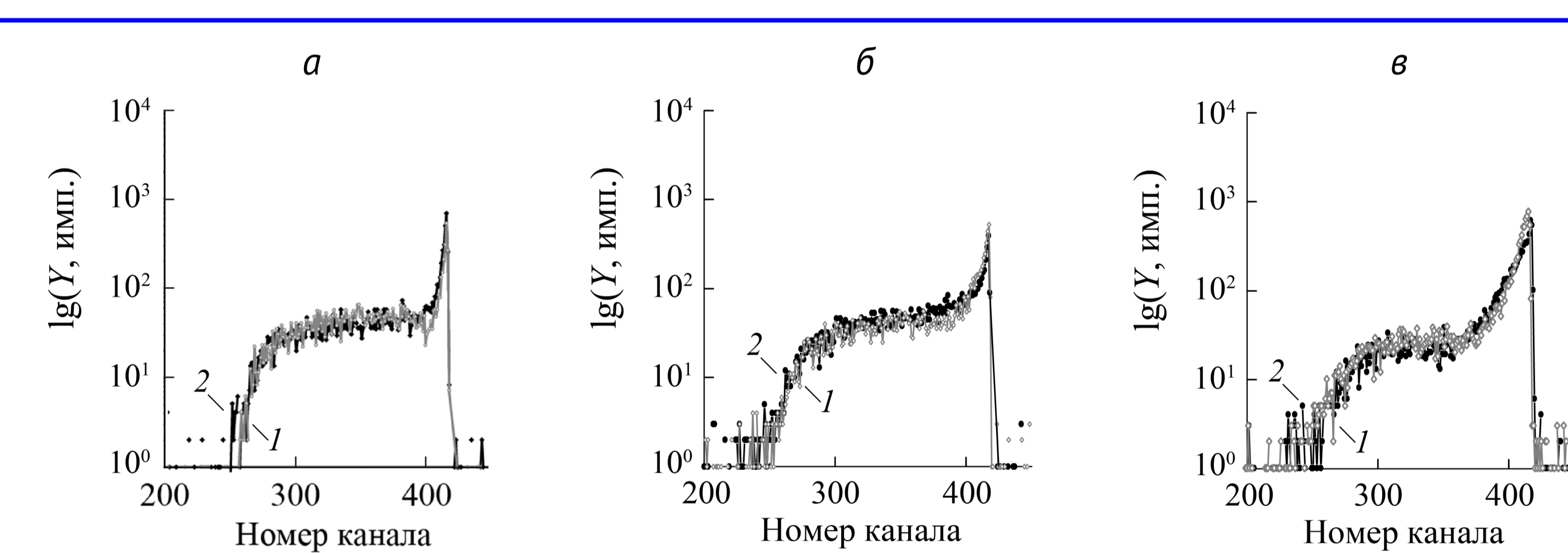


Рис. 4. Спектры  $\alpha$ -частиц из реакции  ${}^7\text{Li}(p,\alpha){}^4\text{He}$  для поверхностей А и Б фольг сплава 1421, отожженных при  $380^\circ\text{C}$  в течение 1 ч (а), 2 ч (б) и 8 ч (в)

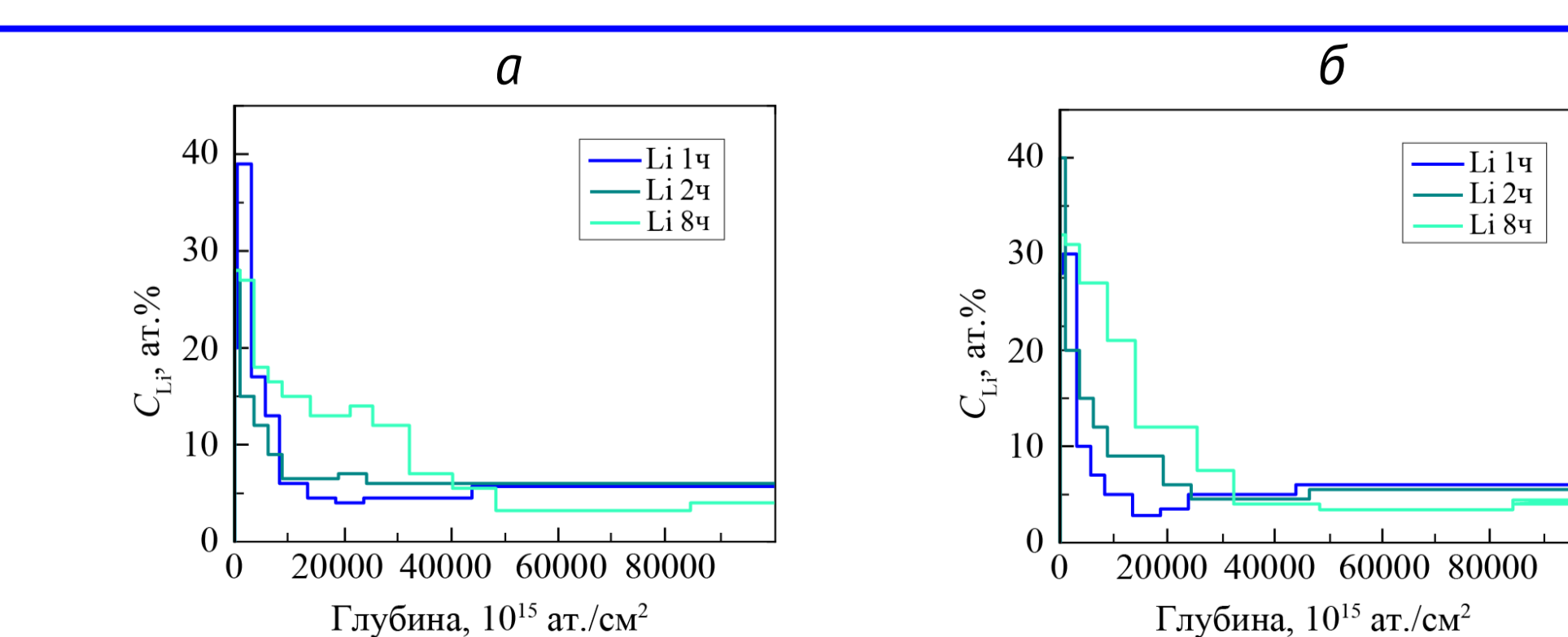


Рис. 5. Глубинное распределение лития в фольгах сплава 1421, отожженных при  $380^\circ\text{C}$  в течение 1 ч, 2 ч и 8 ч поверхности А (а) и Б (б)