

Введение Силикатные стекла оптически изотропны, то есть в них запрещены нелинейно-оптические и электрооптические эффекты второго порядка, такие как генерация второй гармоники (SHG) и электрооптический эффект Поккельса. Однако в начале 1990-х годов исследования Казански [1] показали, что облучение стекол позволяет нарушить их центральную симметрию в связи с появлением «замороженного» электрического заряда, создающего статическое электрическое поле, которое и создает оптическую нелинейность второго порядка.

Целью данной работы является изучение введения оптической нелинейности второго порядка (SON) в приповерхностный слой барийсодержащих силикатных стекол БФ16 с помощью облучения электронами.

Методика эксперимента В работе исследовалось барийсодержащее силикатное стекло БФ16. Сканирующее электронное облучение (ЭО) проводилось с помощью электронно-лучевой установки для микрообработки JEED-2 в диапазоне энергий электронов $W = 4 \div 32$ кэВ. Доза электронного облучения (Q) варьировалась от 0,2 до 40 мкКл/см². Для моделирования распределения электронов после облучения использовался пакет CASINO на основе метода Монте Карло.

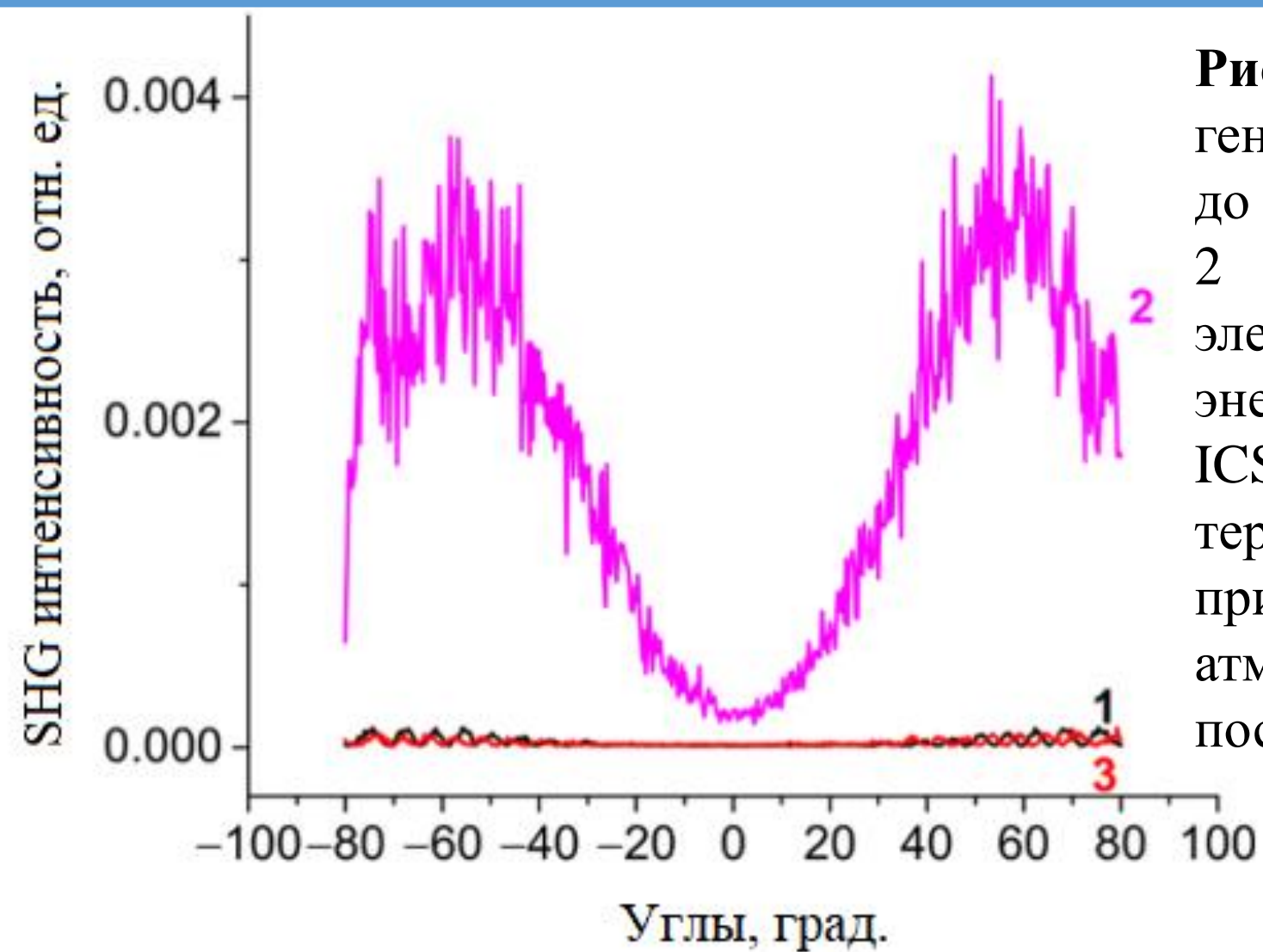


Рис.1 Измеренные полосы генерации SHG: 1 – стекло до электронного облучения, 2 – поляризация электронным пучком при энергии электронов 20 кэВ и ICSD 1,8 мкКл/см², 3 – термическая поляризация при 300°C в воздушной атмосфере при 800В постоянного тока.

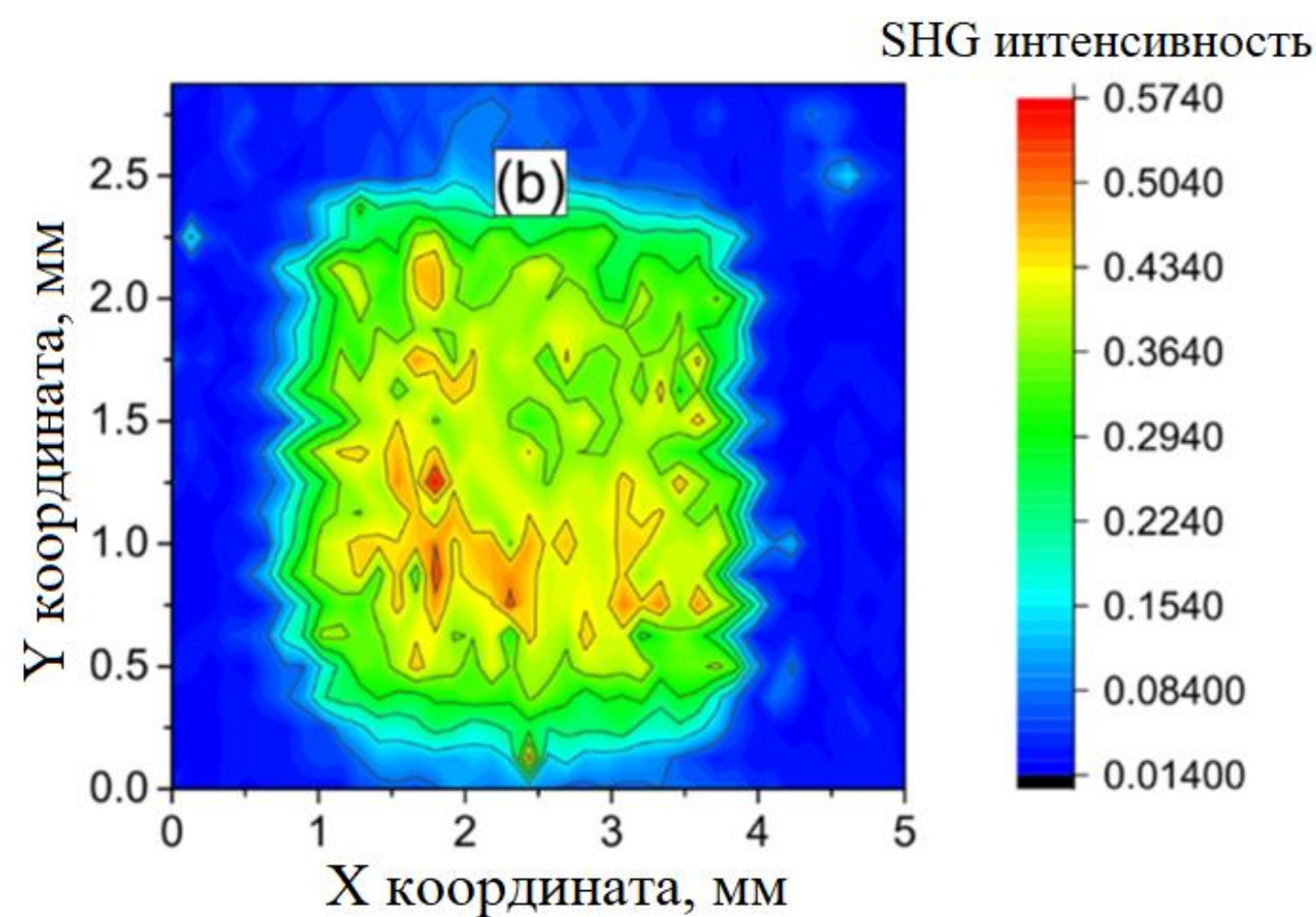


Рис.2 Карта сигнала SHG двух областей облученного стекла БФ16 с $W=20$ кэВ и $Q=20$ мкКл/см², полученная при угле падения лазерного луча 63°. Цветовые полосы указаны в произвольных ед. изм.

Эксперименты показали, что сигнал SHG со стекла БФ16 с термической поляризацией в пределах точности измерений совпал с сигналом необработанного стекла БФ16. Однако обработка этого стекла электронным пучком привела к заметному образованию SHG излучения.

На рисунке 2 видно, что облученная сканирующим электронным лучом область стекла БФ16 показывает достаточно равномерный сигнал SHG, в то время как в необлученной области сигнал незначителен.

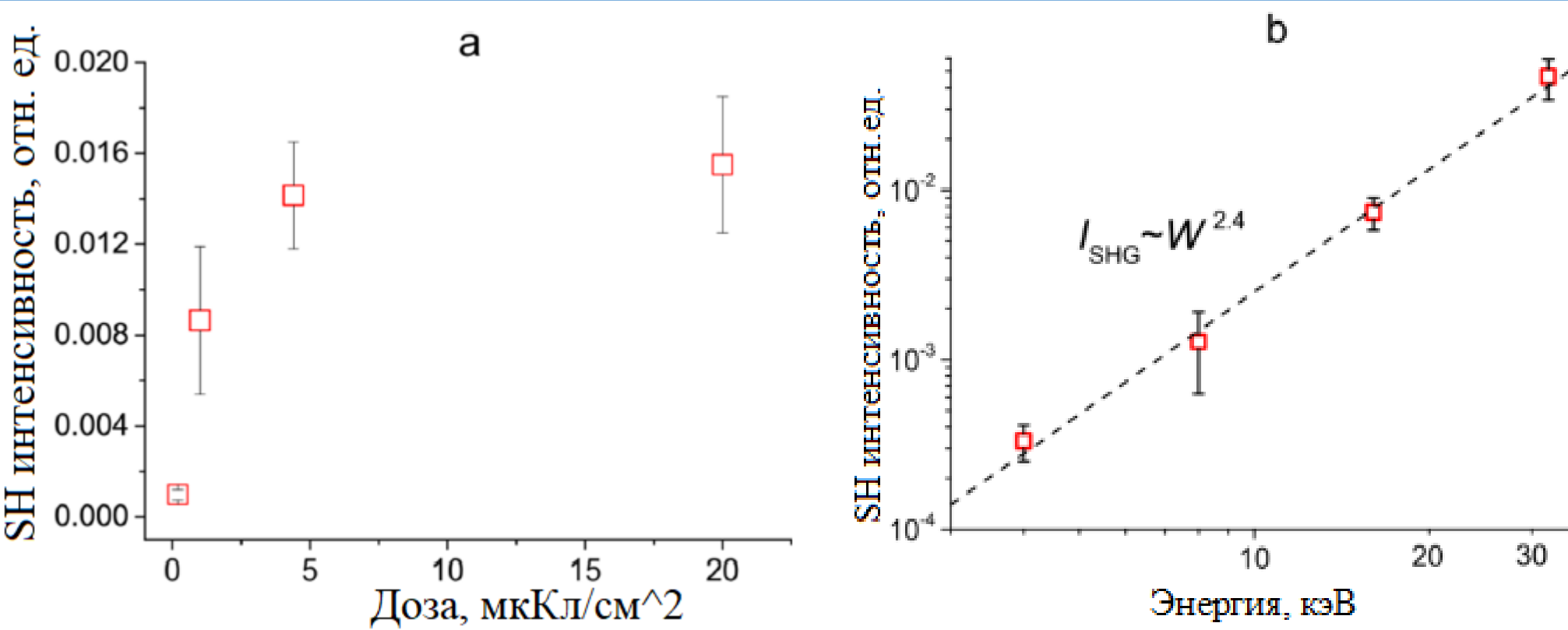


Рис.3 Интенсивность SHG от облученного стекла БФ16 в зависимости от Q для $W = 20$ кэВ (а) и от энергии электронного пучка для $Q = 40$ мкКл/см² (логарифмическая шкала). Квадраты — эксперимент, пунктирная линия — аппроксимация степенной функцией (b).

На рисунке 3а видно, что интенсивность SHG сигнала растет достаточно быстро при увеличении дозы электронного облучения, но после определенного значения дозы, рост прекращается и интенсивность сигнала остается примерно на одном уровне. При этом зависимость интенсивности сигнала SHG от энергии можно выразить как $I_{SHG} \sim W^{2,4}$, что показано на рисунке 3б.

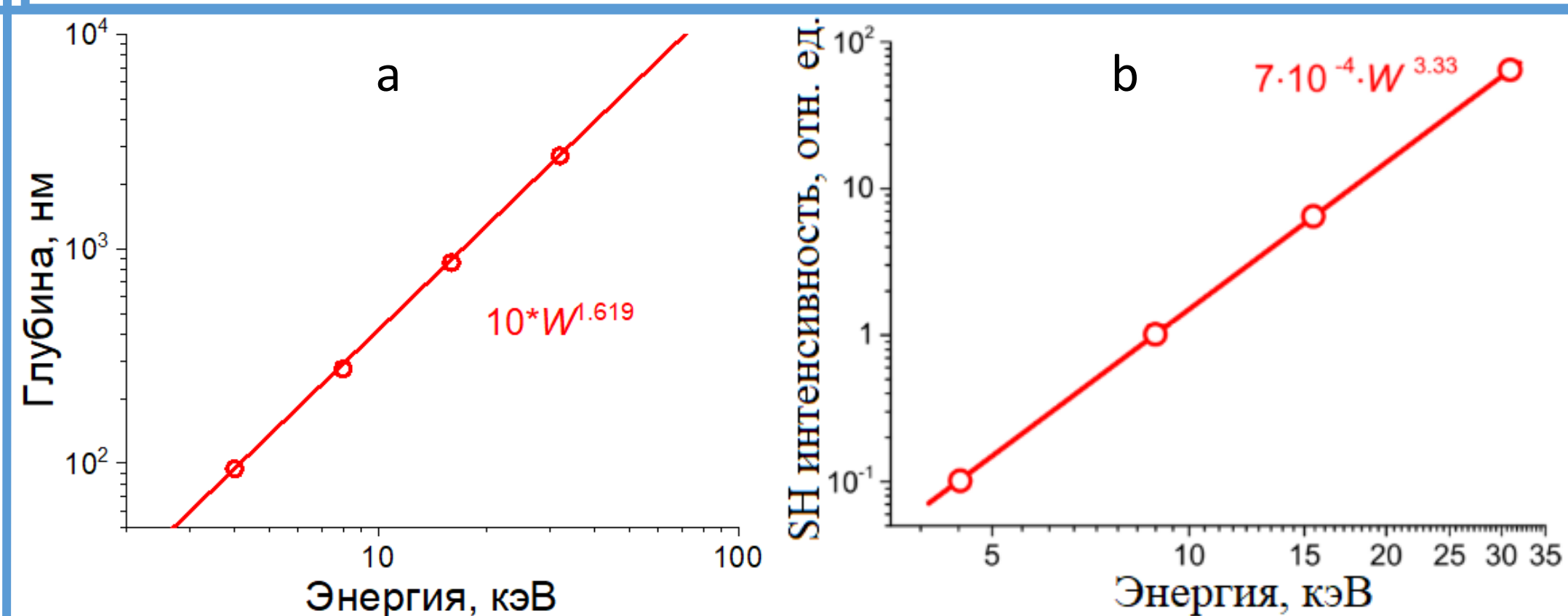
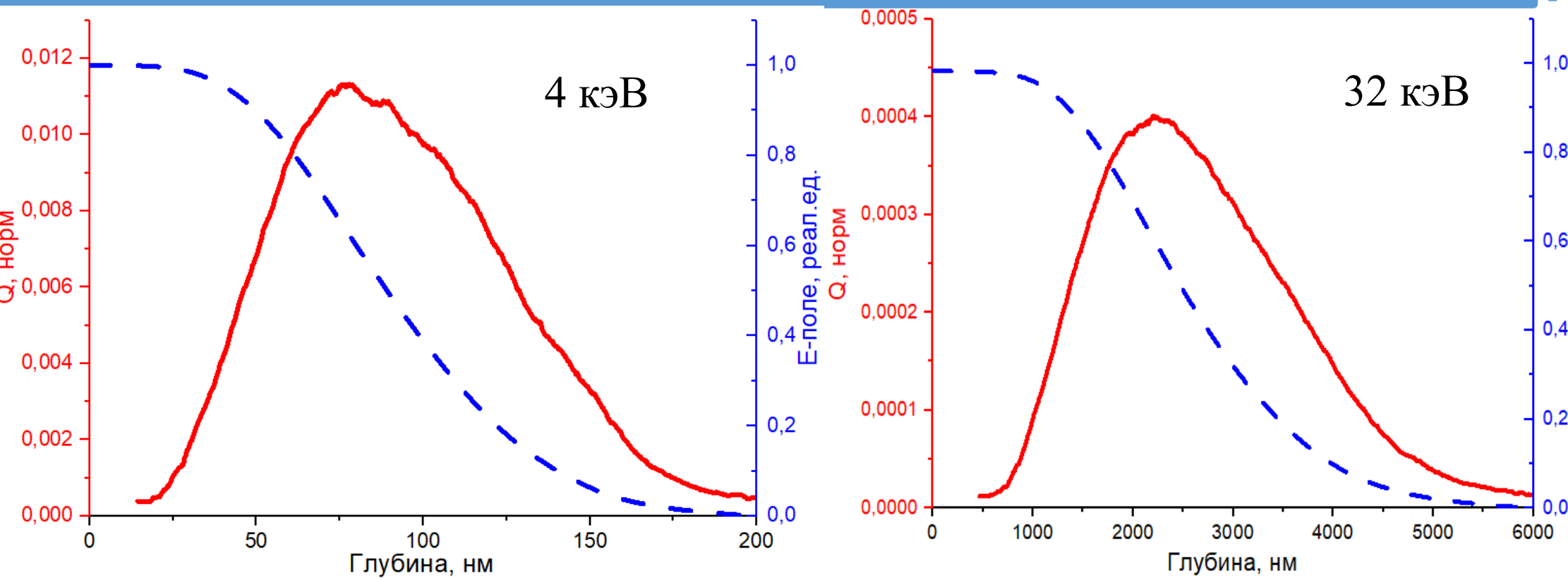


Рис.4 На основе моделирования в ПО CASINO рассчитаны энергетические зависимости и их аппроксимация средней глубины проникновения электронов (а) и интенсивности SHG (б) для стекла БФ16.

Смоделированная зависимость средней глубины от энергии электронов представлена на рисунке 4а. Можно видеть, что зависимость представляет собой степенную функцию с наклоном $\sim 1,6$, что очень близко к значению в формуле Бете [2]. Аппроксимация результатов моделирования степенной функцией интенсивности SHG дала зависимость вида $I_{SHG} \sim W^{3,33}$ это на 30% выше эксперимента, где $I_{SHG} \sim W^{2,4}$



Чтобы оценить характер зависимости сигнала SHG от энергии электронного пучка (рисунок 4б) использовались результаты моделирования для энергий электронов 4, 8, 16 и 32 кэВ (рисунок 5).

Рис.5 Нормализованное распределение электрического заряда (сплошная, левые оси) и распределение электрического поля (пунктирная, правые оси) в стекле BF16 после электронного облучения с различными энергиями.

Выводы: Было показано, что в барийсодержащем силикатном стекле БФ16 после электронного облучения появляется сигнал второй оптической гармоники, но в тоже время не появляется никакого сигнала после проведения термической поляризации. Электронное облучение приводит к появлению «замороженного» заряда, который снимает анизотропию показателя преломления в барийсодержащем стекле БФ-16 и служит причиной возникновения сигнала второй гармоники.

1. Kazansky, P.G.; Kamal, A.; Russell, P.S.J. High Second-Order Nonlinearities Induced in Lead Silicate Glass by Electron-Beam Irradiation. Opt. Lett. 1993, 18, 693.
2. Bethe, H.; Ashkin, J. Experimental Nuclear Physics; Segré, E., Ed.; John Wiley: New York, NY, USA, 1953; p. 253.