

Введение В настоящее время можно увидеть возрастающий интерес к созданию устройств наноплазмоники. Интерес обусловлен наличием нелинейных оптических свойств наночастиц (НЧ) и возможностью локального усиления оптических полей, благодаря присутствию пространственного наномасштаба вещества. Современные диагностические системы и вычислительные методы позволяют с большой точностью характеризовать, предсказывать и подбирать параметры и свойства НЧ для создания различного рода наноплазмонных устройств.

Целью данной работы является определение механизмов формирования металлических НЧ в щелочных кристаллах при электронном облучении (ЭО) электронами относительно низких энергий и определение влияния параметров ЭО на характеристики полученных НС в кристаллах.

Методика эксперимента В работе исследовалась группа оптических кристаллов: хлориды натрия и калия (NaCl, KCl). Сканирующее электронное облучение проводилось с помощью электронно-лучевой установки для микрообработки JEED-2 с энергией электронов $E = 50$ кэВ. Доза электронного облучения варьировалась от 10 до 100 мКл/см². Спектры оптической плотности были получены с помощью спектрофотометра Lambda 650. Измерения проводились на интервале 200-800 нм с шагом 1 нм при комнатной температуре.

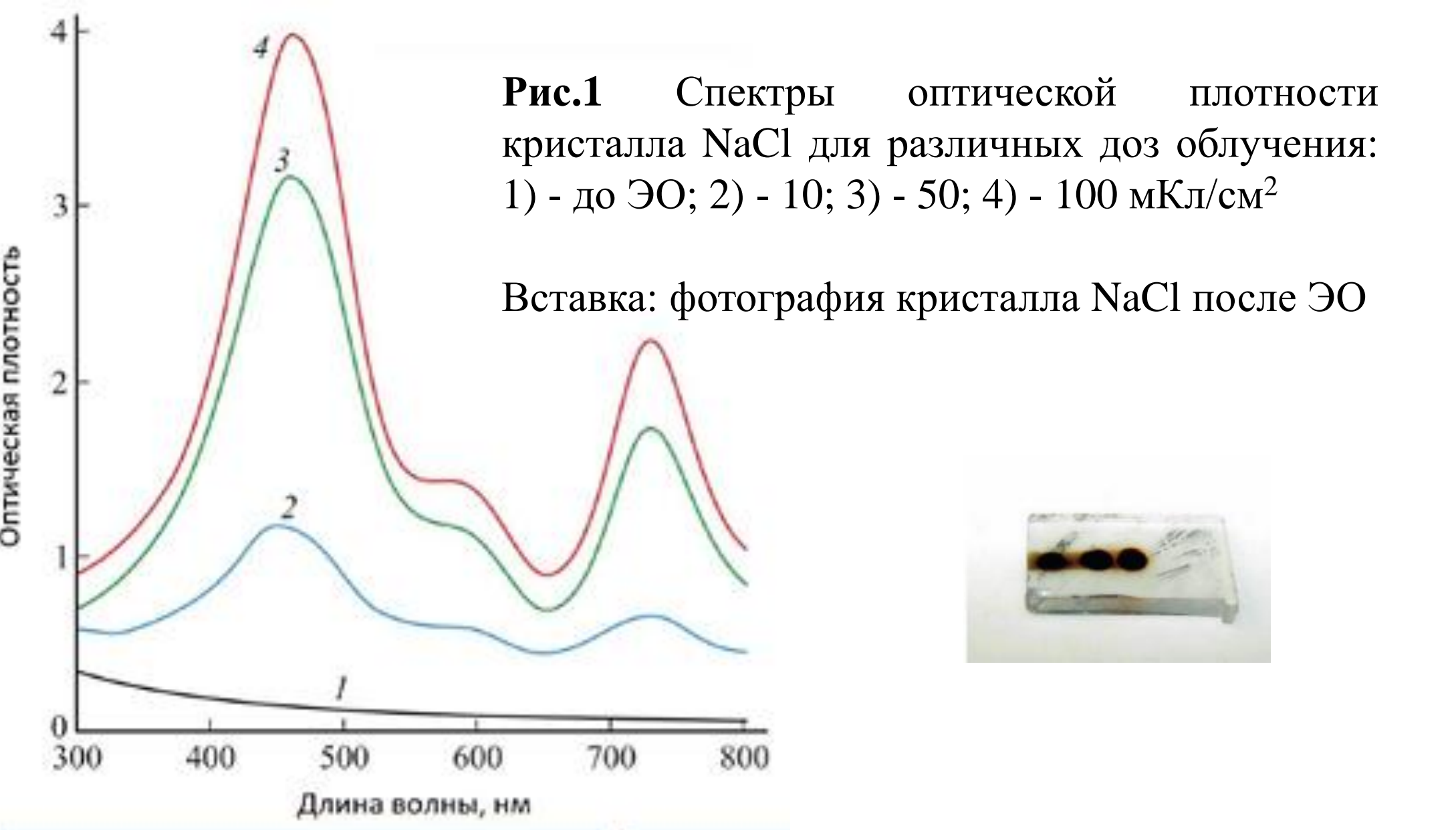


Рис.1 Спектры оптической плотности кристалла NaCl для различных доз облучения: 1) - до ЭО; 2) - 10; 3) - 50; 4) - 100 мКл/см²
Вставка: фотография кристалла NaCl после ЭО

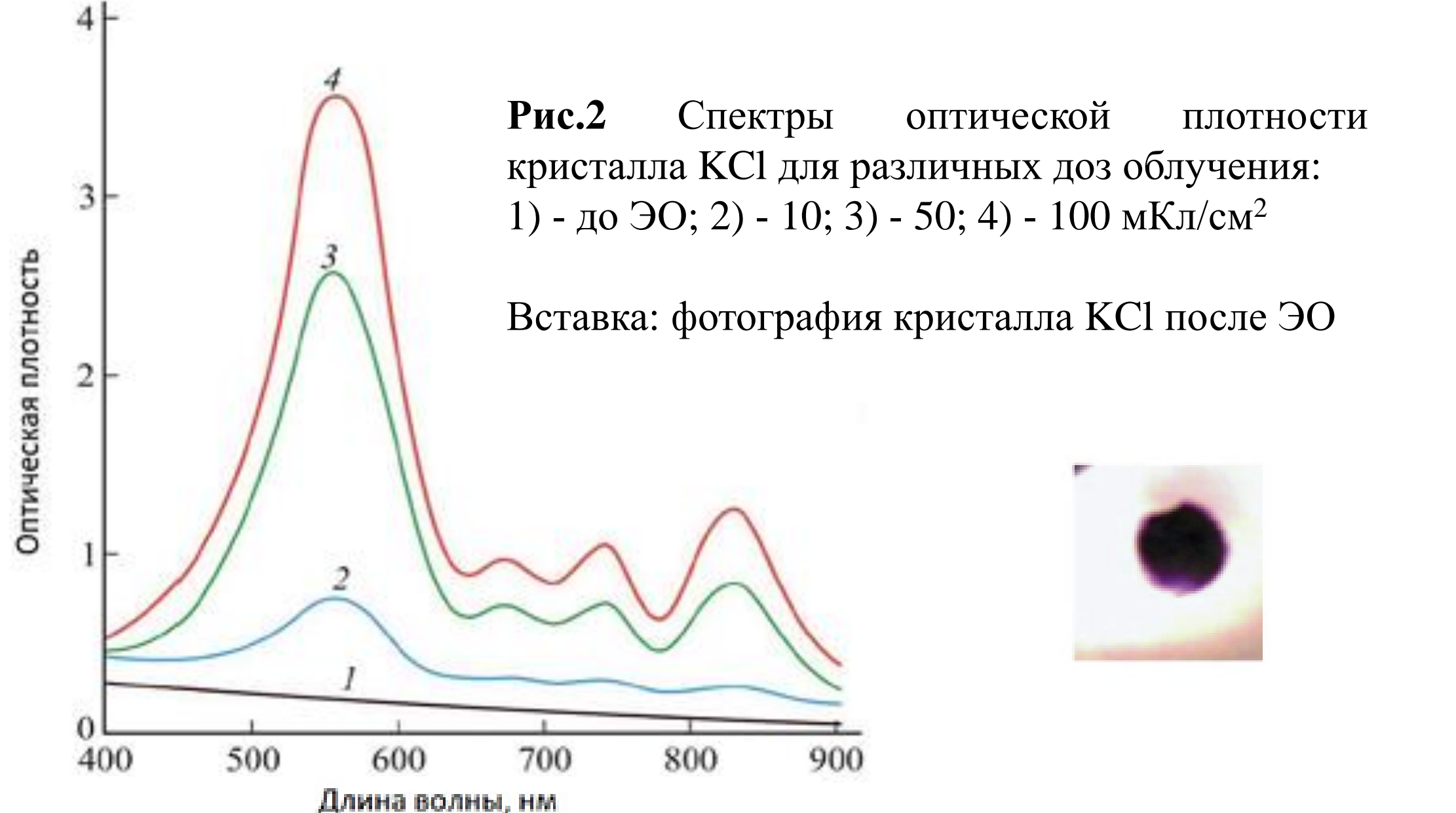


Рис.2 Спектры оптической плотности кристалла KCl для различных доз облучения: 1) - до ЭО; 2) - 10; 3) - 50; 4) - 100 мКл/см²
Вставка: фотография кристалла KCl после ЭО

На спектрах оптической плотности для кристалла NaCl до и после ЭО видно появление трех полос поглощения при 450, 580 и 730 нм.

ЭО кристалла KCl приводит к появлению нескольких полос поглощения при 550, 660, 730 и 830 нм.

Полосы поглощения кристаллов 450 нм – NaCl и 550 нм – KCl соответствуют НЧ Na и K. В то же время на спектрах оптической плотности видно, что пики поглощения, соответствующие поглощению НЧ имеют симметричную форму. Такая форма говорит о том, что НЧ имеют сферическую форму.

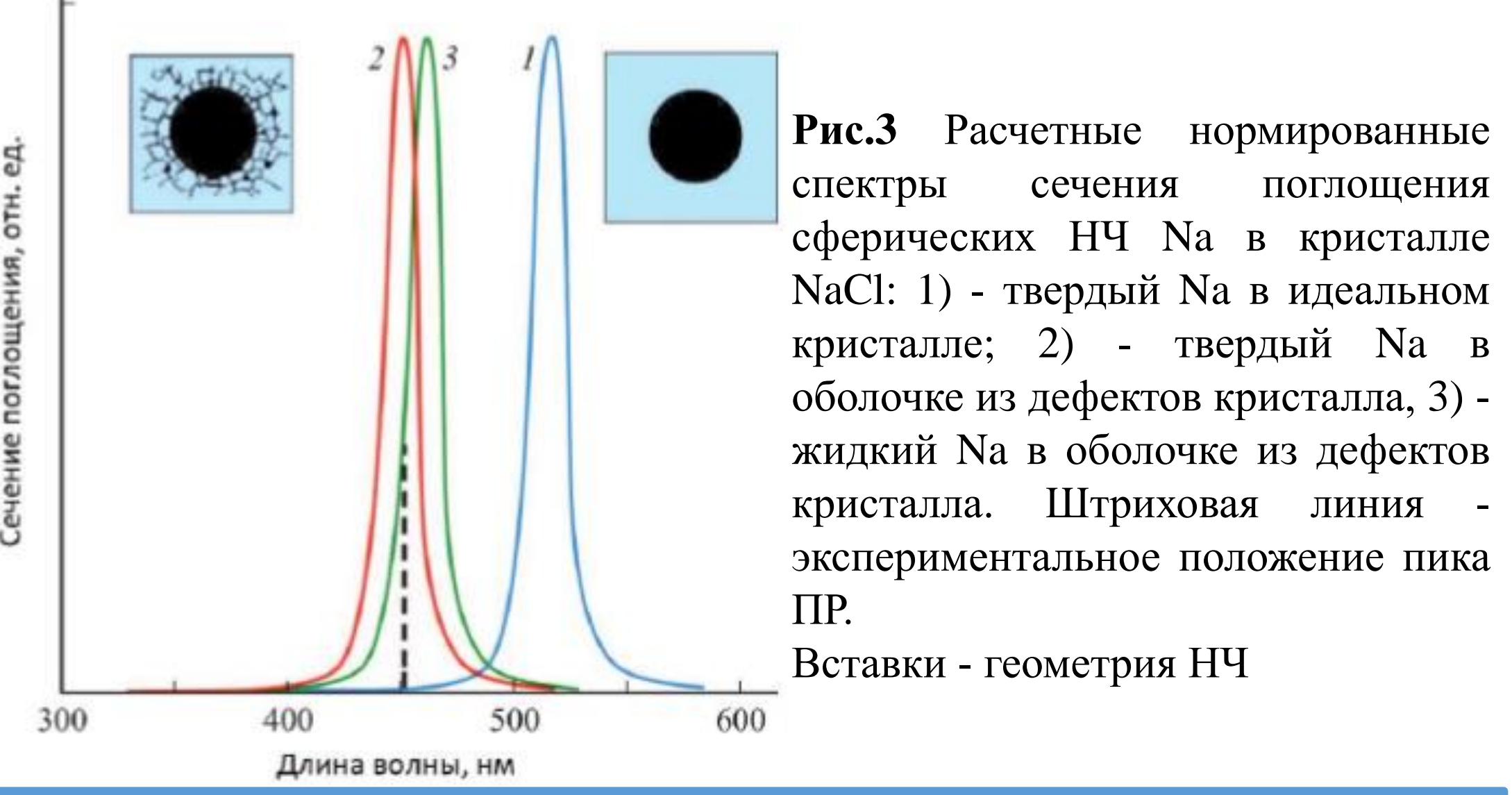


Рис.3 Расчетные нормированные спектры сечения поглощения сферических НЧ Na в кристалле NaCl: 1) - твердый Na в идеальном кристалле; 2) - твердый Na в оболочке из дефектов кристалла, 3) - жидкий Na в оболочке из дефектов кристалла. Штриховая линия - экспериментальное положение пика ПР.
Вставка - геометрия НЧ

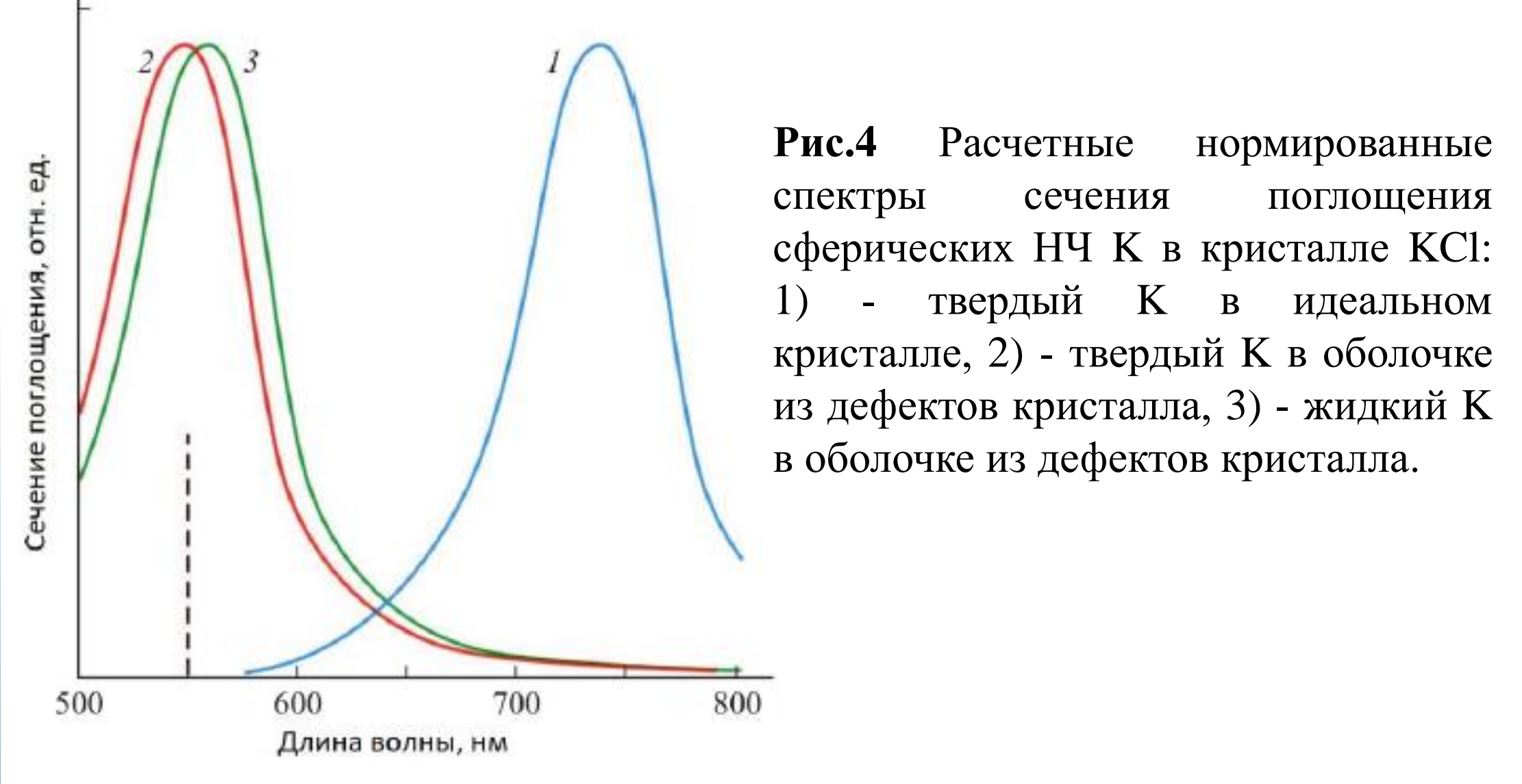


Рис.4 Расчетные нормированные спектры сечения поглощения сферических НЧ K в кристалле KCl: 1) - твердый K в идеальном кристалле, 2) - твердый K в оболочке из дефектов кристалла, 3) - жидкий K в оболочке из дефектов кристалла.

Рисунок 3, кривая 1 - спектральное поглощение НЧ Na в идеальном кристалле NaCl смещено в длинноволновую область спектра относительно экспериментальных данных - НЧ имеют оболочку с показателем преломления ниже, чем показатель преломления идеального кристалла [1, 2].

Рисунок 3, кривая 2 - результат численного моделирования сечения поглощения твердого Na с оболочкой с показателем преломления ниже, чем показатель преломления окружающей среды.

Рисунок 3, кривая 3 - есть вероятность, что НЧ могут находиться в кристаллах в виде переохлажденной жидкости - жидкий Na с оболочкой с низким показателем преломления в кристалле NaCl - незначительный сдвиг максимума поглощения в длинноволновую область спектра.

Уширение полосы плазмонного поглощения, полученного в эксперименте, может быть вызвано разбросом показателей преломления оболочки вокруг НЧ в облученной зоне кристалла, а также с отклонением ее формы от сферической.

Наличие диэлектрической оболочки может быть обусловлено большим количеством кристаллических дефектов, образующихся вокруг НЧ. Дефекты формируются в процессе ЭО из-за перемещения подвижных ионов натрия и калия в отрицательно заряженную область в приповерхностном слое кристалла, сформированную термализованными электронами. Также дефекты обусловлены образованием нанотрещин в процессе роста НЧ.

Выводы: Электронное облучение кристаллов NaCl, KCl приводит к формированию металлических наночастиц Na и K, обладающих плазмонным резонансом, в приповерхностном слое кристаллов соответственно, а также к формированию оболочки у наночастиц из дефектов кристаллической решетки. При этом оптические методы исследования не дают точного ответа, в твердом или жидком состоянии находятся наночастицы.

1. Никоноров, Н. В. Нанофотоника и Наноплазмоника // Н. В. Никоноров, А. И. Сидоров – СПб.: НИУ ИТМО, 2014. – 120 с.
2. Дёмичев, И. А. Численное моделирование оптических свойств металлических наночастиц: учебное пособие / И. А. Дёмичев, А. И. Сидоров. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 52 с.