



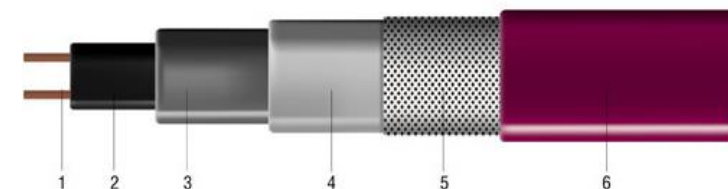
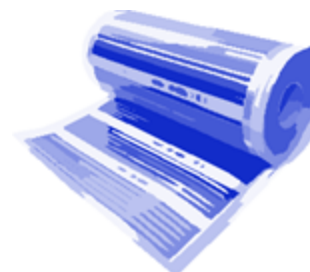
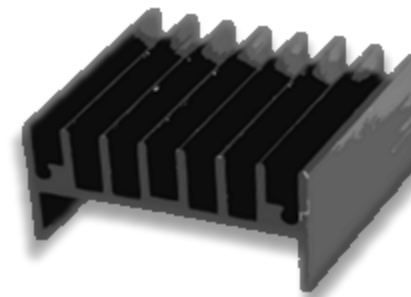
Функциональные полимерные композиционные материалы

Бурмистров Игорь Николаевич
Ведущий эксперт каф. ФНСиВТМ

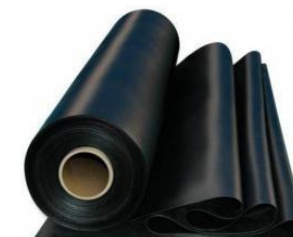
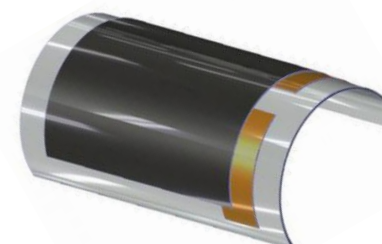


Направления использования электропроводных композитов

- Радиаторы обогрева/охлаждения;
- Резистивные нагреватели;
- Саморегулирующиеся обогревающие материалы;
- Электродные материалы;
- Материалы для 3D печати функциональных прототипов.

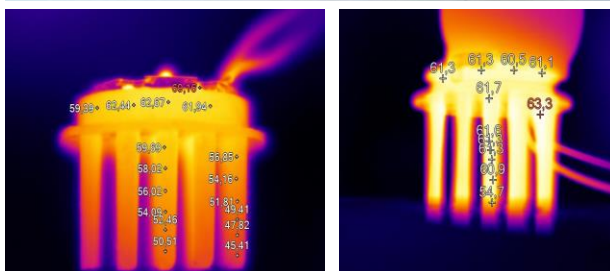


1 — токонесущие медные жилы; 2 — нагревательная матрица с эффектом саморегуляции; 3 — первый слой изоляции; 4 — второй слой изоляции из полиолефина; 5 — экранирующая оплетка из луженой меди; 6 — защитная оболочка из полиолефина



Повышение теплопроводности экструзионных и литьевых термопластов

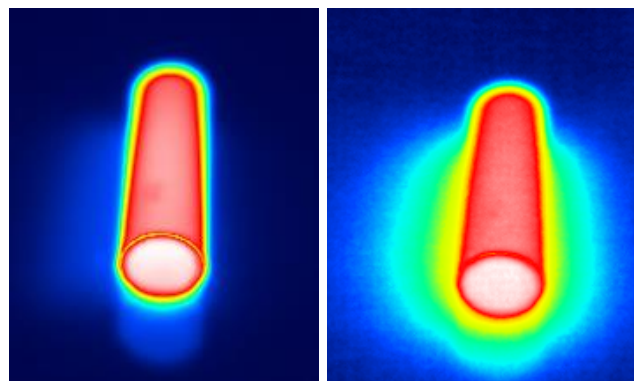
Радиатор охлаждения LED



Аналоги:

**Листовой материал
НОМАКОН™ КПТД-2
– 1,4 Вт/м*К**

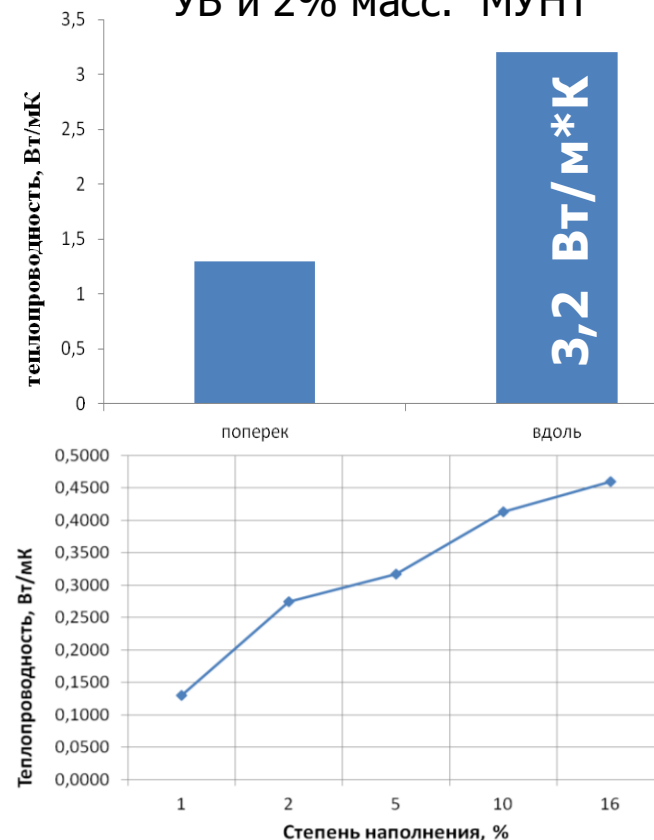
Трубчатые радиаторы



Аналоги:

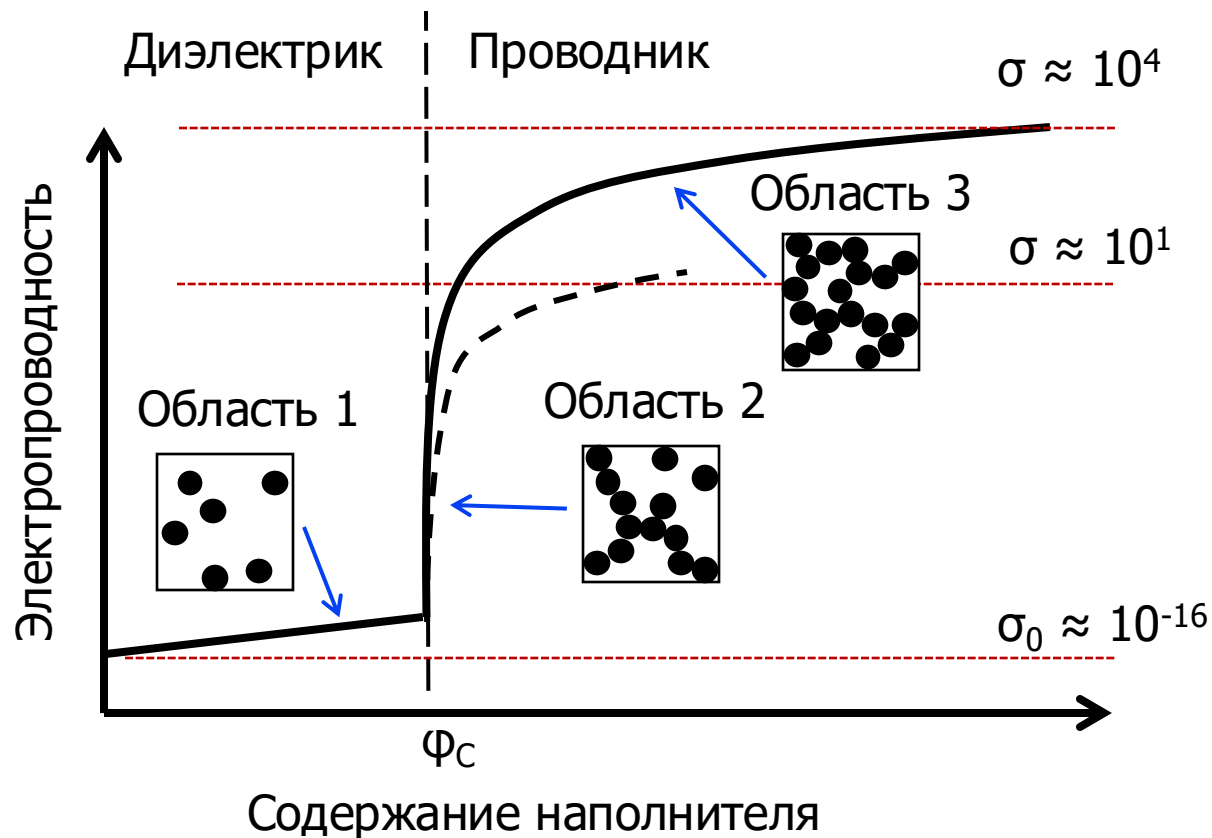
**Труба ProtectorFlex с
повышенным коэффициентом
теплопроводности – 0,49 Вт/м*К**

Теплопроводность
композитов на основе ПП,
наполненного 18% масс.
УВ и 2% масс. МУНТ



Теплопроводность
композитов на основе ПП
и МУНТ d = 9 нм

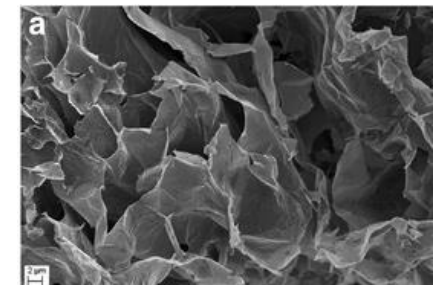
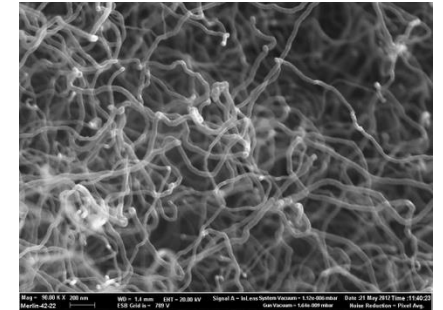
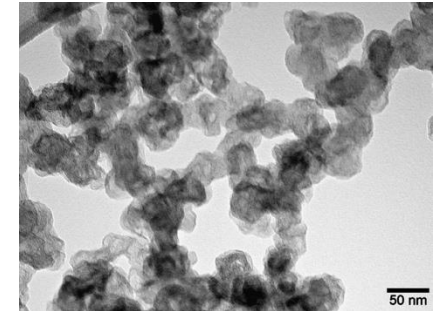
Корреляция структуры и проводимости полимерного композиционного материала (ПКМ)



Область 1 – композит не проводит электричество, матрица включает отдельные частицы проводящего наполнителя.
 Область 2 – область формирования перколяционной сетки или проводящего кластера, проводимость резко возрастает при $\phi > \phi_c$.
 Область 3 – проводимость медленно увеличивается за счет роста проводящего кластера.

$$\sigma = \sigma_0(\phi - \phi_c)^t$$

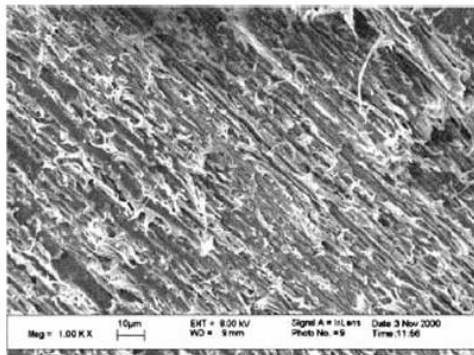
где:
 σ_0 – собственная проводимость наполнителя;
 ϕ_c – порог электрической перколяции;
 t – критический показатель, зависящий от особенности структуры наполнителя.



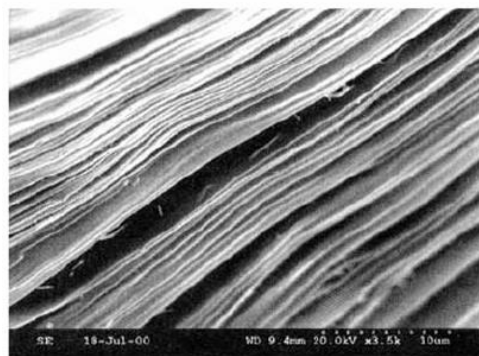
Полимерные смеси в качестве матрицы ПКМ



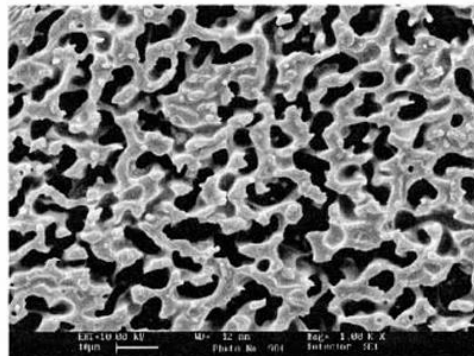
а)



б)



в)



г)

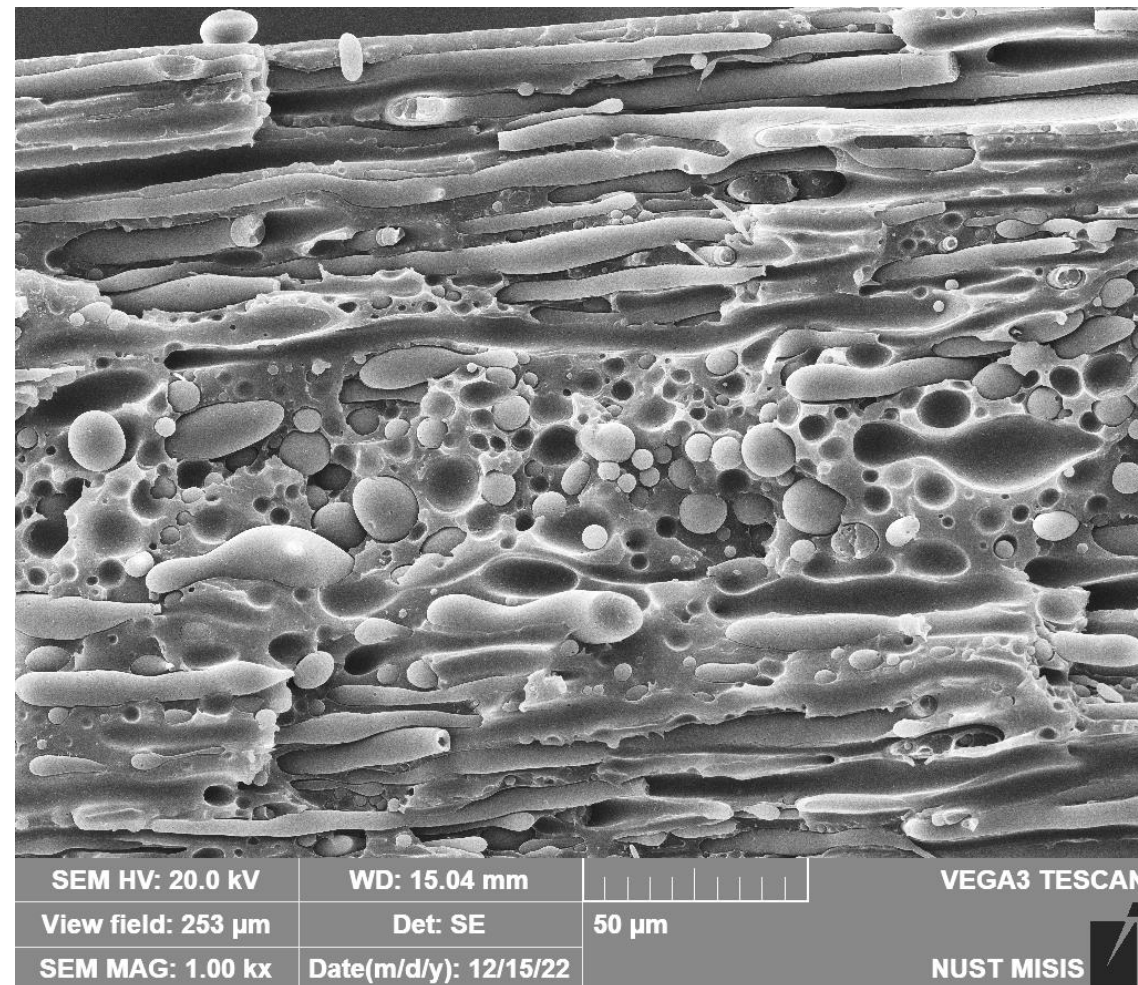
а) дисперсная структура (капля в матрице) (ТПУ/ПП = 80/20)

б) матрично-волокнистая структура (САН/ПА = 70/30)

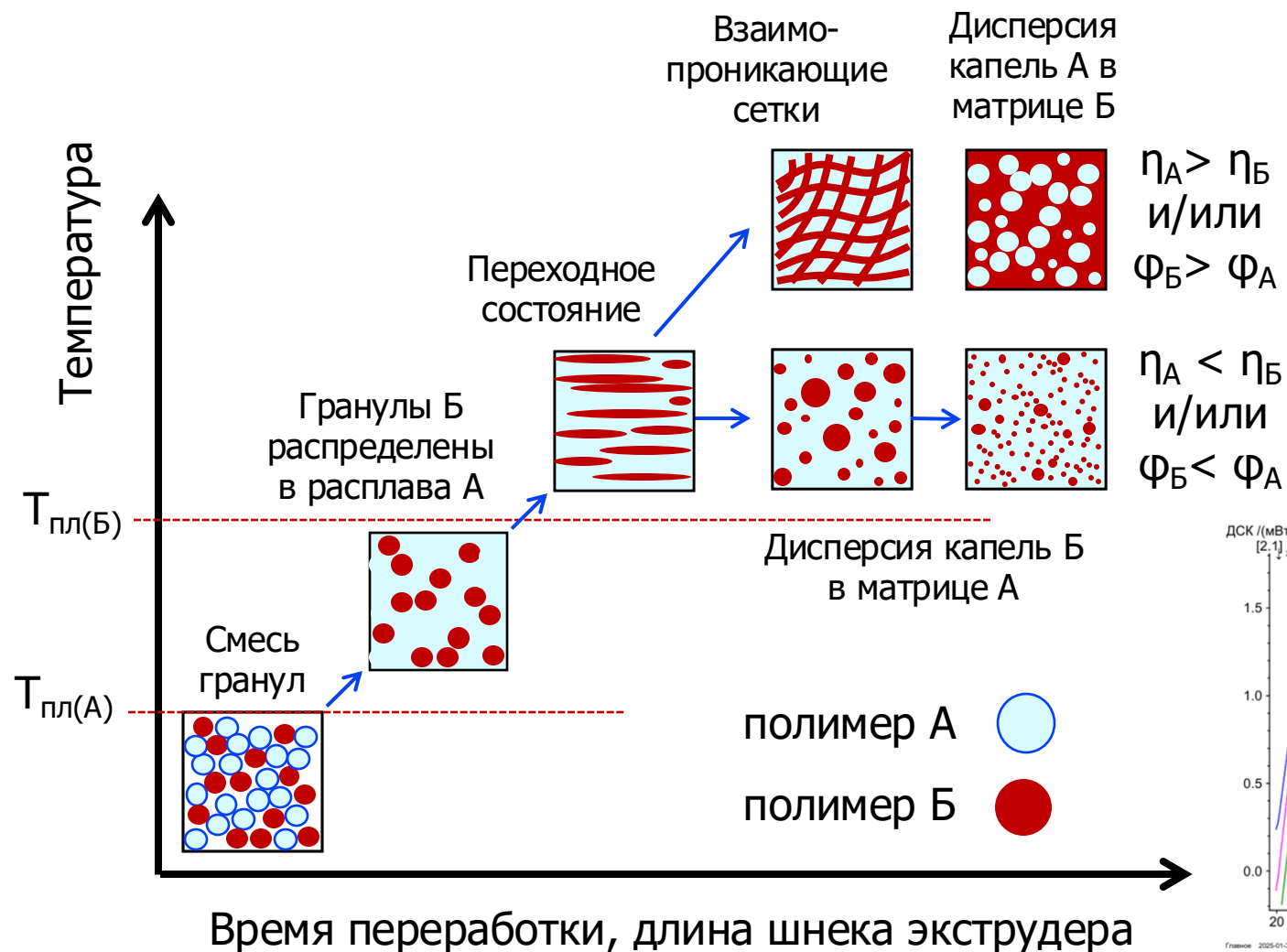
в) пластинчатая структура (ПП/ЭПДМ = 80/20)

г) структура взаимопроникающих сеток (ПС/ПЭ = 75/25)

ПЛА/СЭВА = 50/50

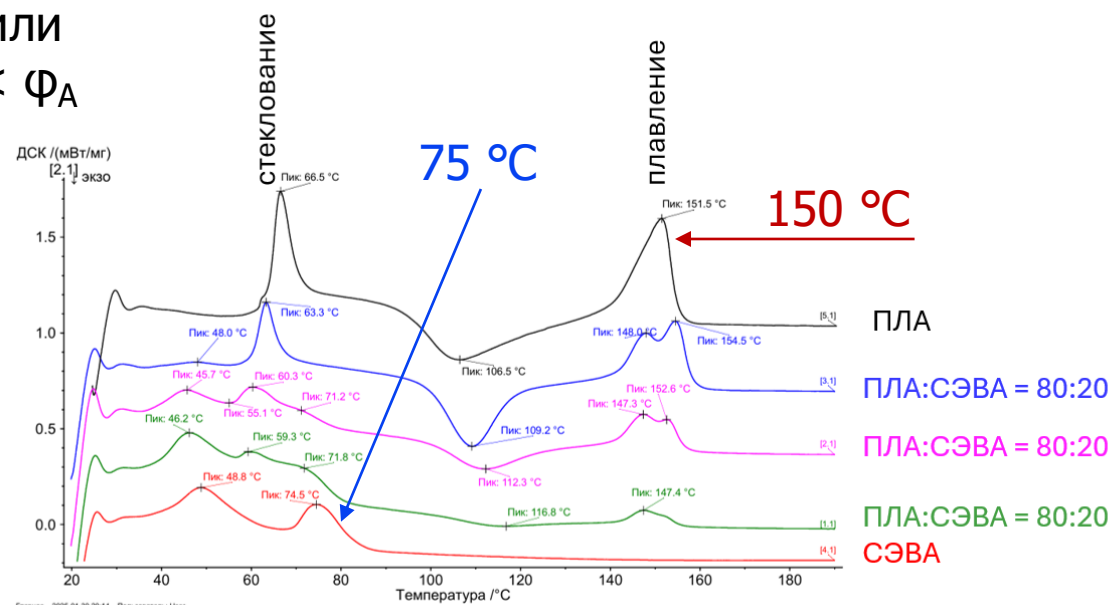


Формирование структуры смеси взаимно не растворимых полимеров в процессе переработки



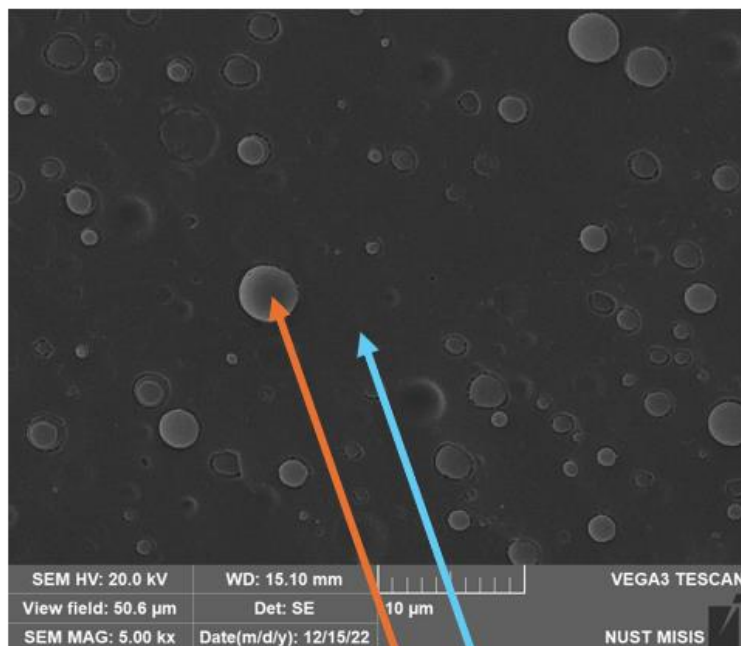
Факторы морфологии смесей:

- Концентрация;
- Температуры плавления/стеклования;
- Вязкости расплавов;
- Поверхностное натяжение.



Структура смесей ПЛА и СЭВА при различных соотношениях компонентов

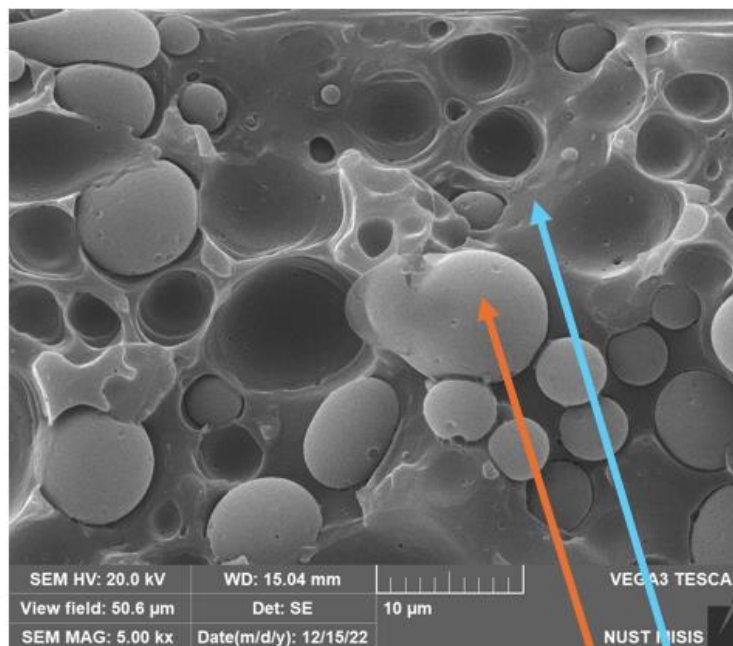
20 % масс. ПЛА
80 % масс. СЭВА



ПЛА

СЭВА

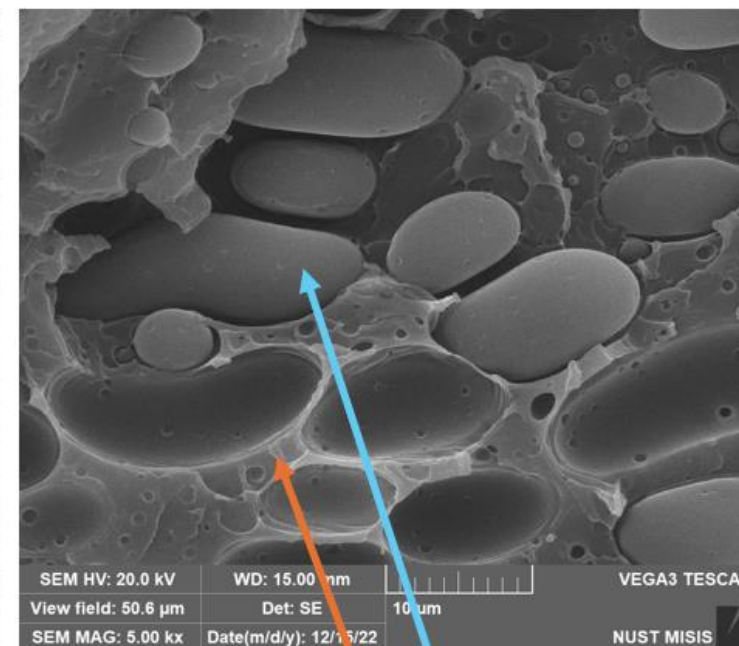
50 % масс. ПЛА
50 % масс. СЭВА



ПЛА

СЭВА

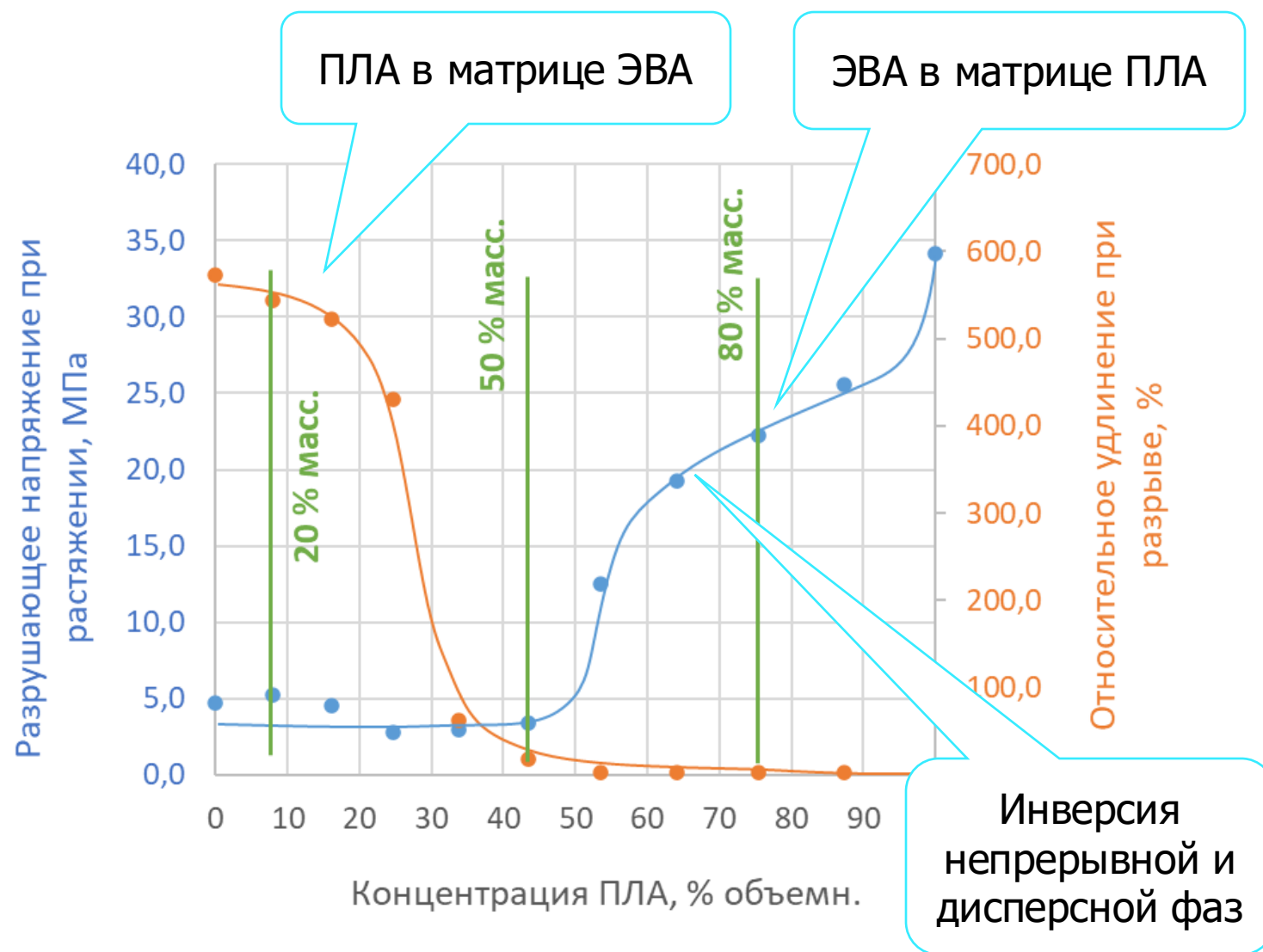
80 % масс. ПЛА
20 % масс. СЭВА



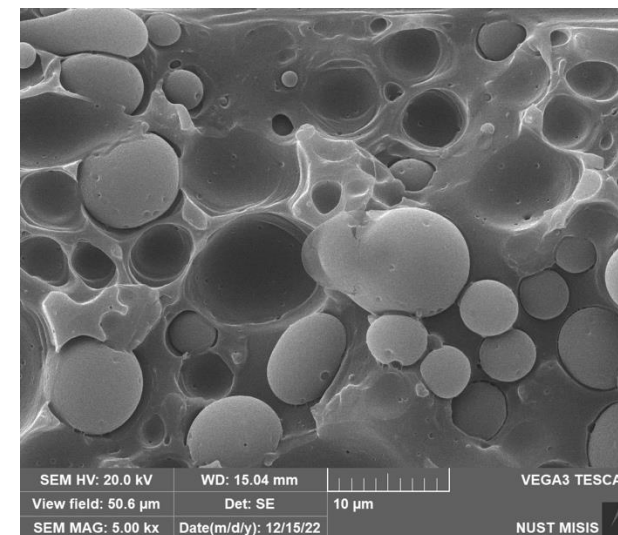
ПЛА

СЭВА

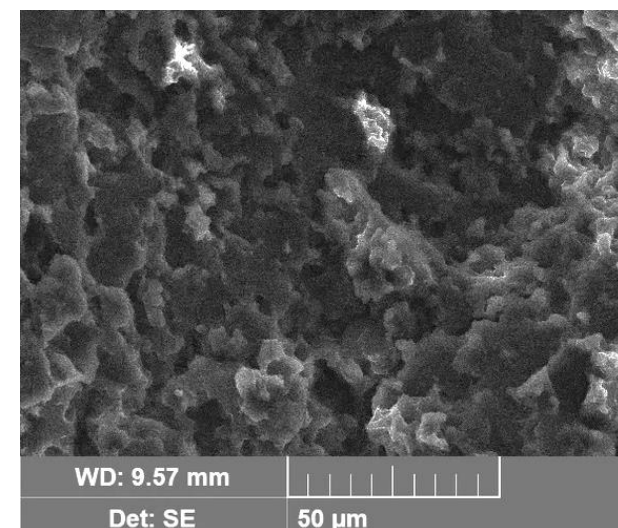
Механические свойства смесей ПЛА и СЭВА



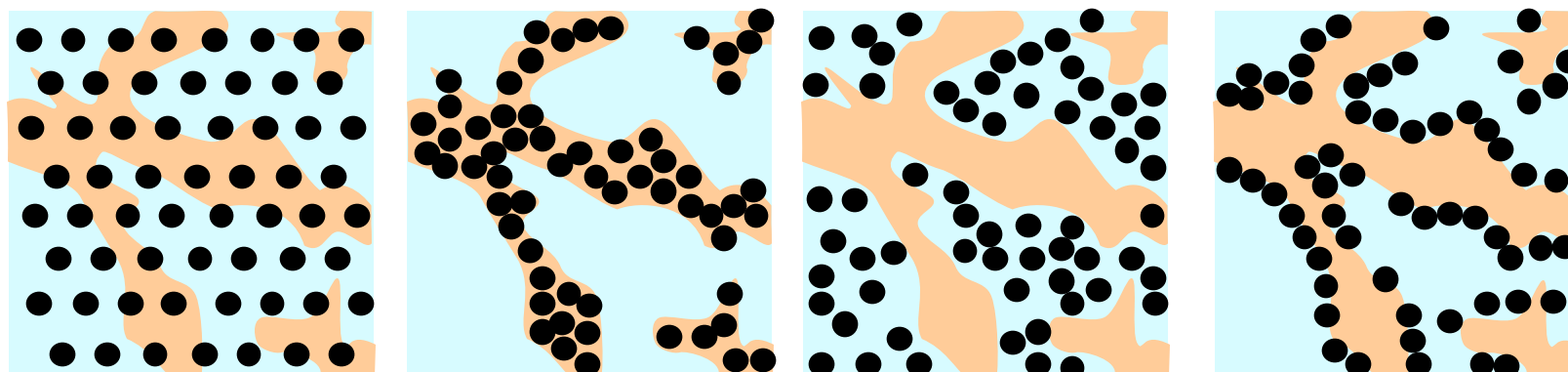
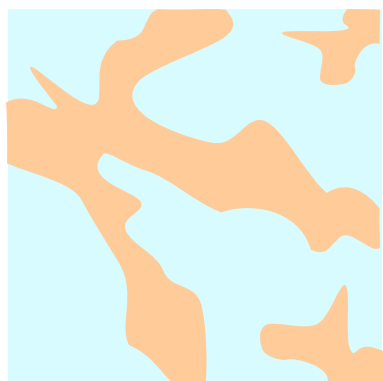
ПЛА/СЭВА = 50/50





ПЛА/СЭВА/СВ = 50/50/10

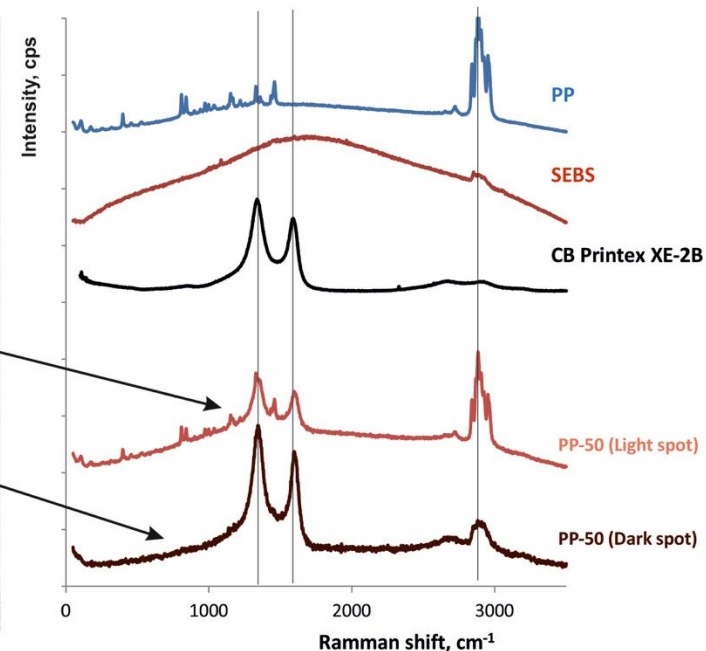
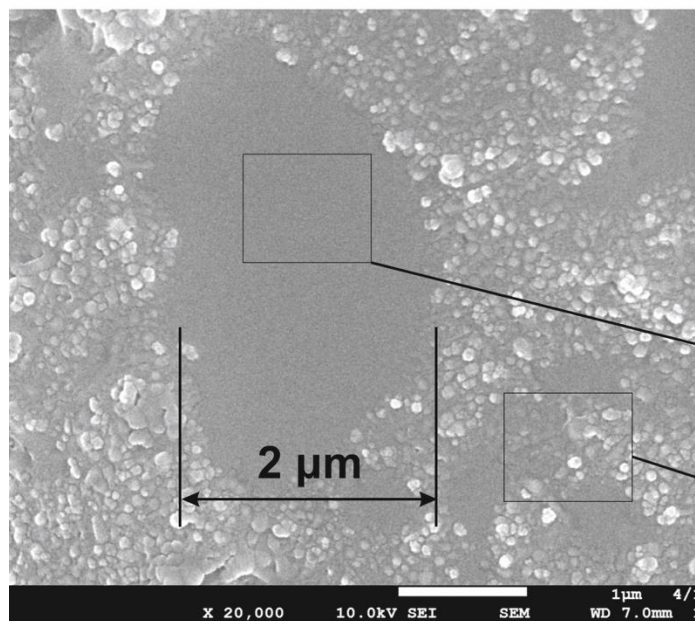


Формирование структуры наполненных смесей взаимно не растворимых полимеров

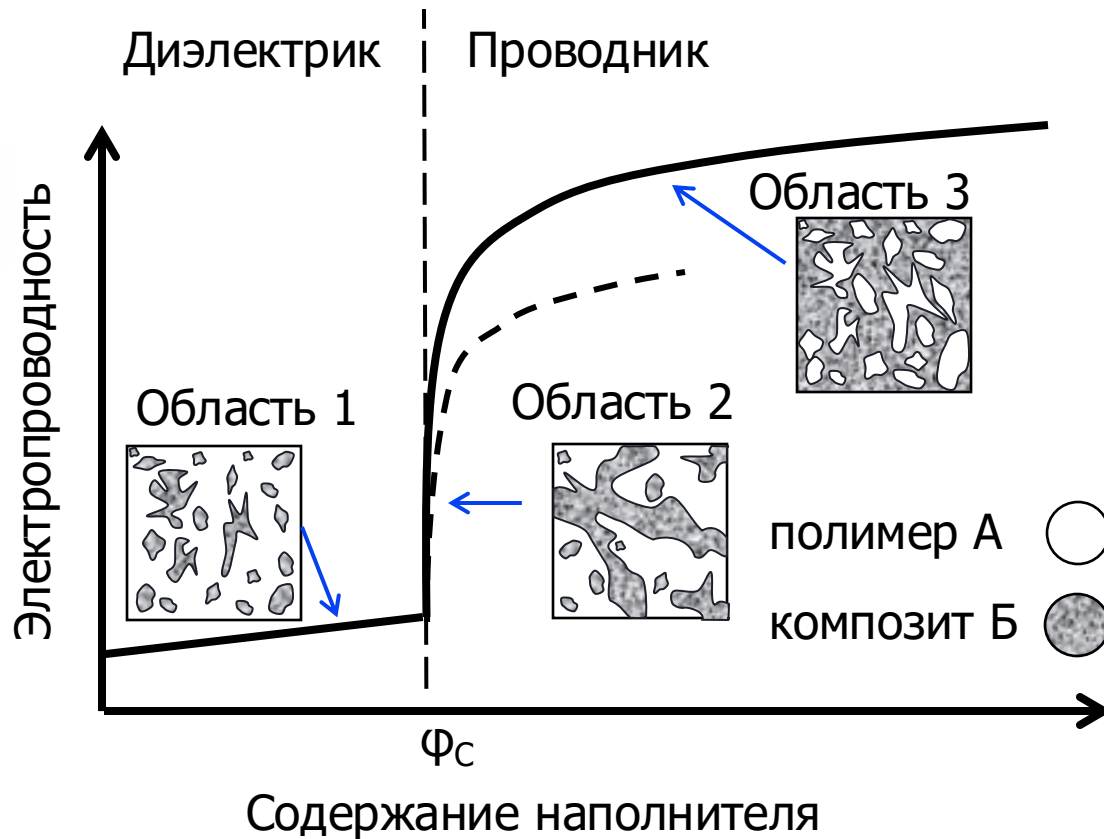


полимер А 
полимер Б 

**SEBS/I40 - 40 wt. %
PP - 50 wt. %
CB - 10 wt. %**



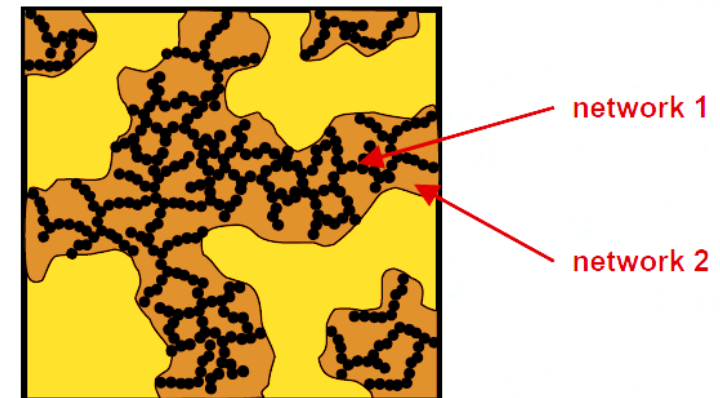
Корреляция структуры и проводимости полимерного композиционного материала (ПКМ)



Область 1 – непроводящий композит, состоящий из полимерной смеси непроводящего полимера А с включениями наполненного полимера (проводящего композита) Б.

Область 2 – взаимопроникающая сетка из проводящей и непроводящей фаз. Это область начала перколяции Б в А, проводимость резко возрастает при $\Phi > \Phi_c$.

Область 3 – Структура композита состоит из проводящей матрицы (композит Б), проводимость медленно увеличивается пропорционально объемной доле проводящей фазы.



Распределение сажи в смеси полипропилена (ПП) и стирол-этилен-бутилен-стирольного каучука (СЭБС)

А – Структура частиц сажи

Printex XE 2-B,

В – Рамановский спектр сажи

Printex XE 2-B;

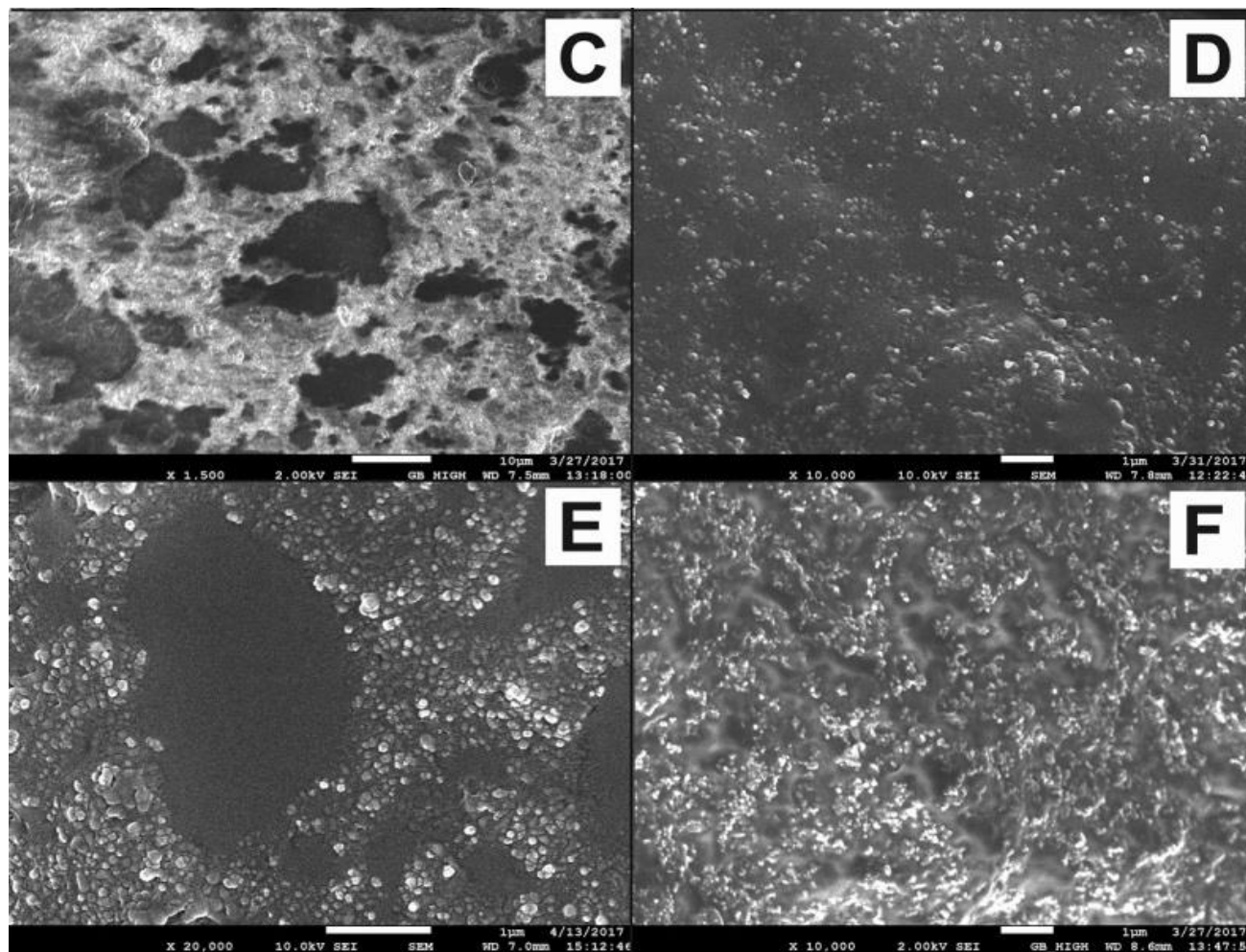
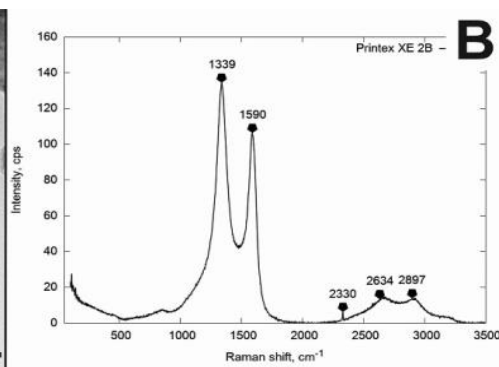
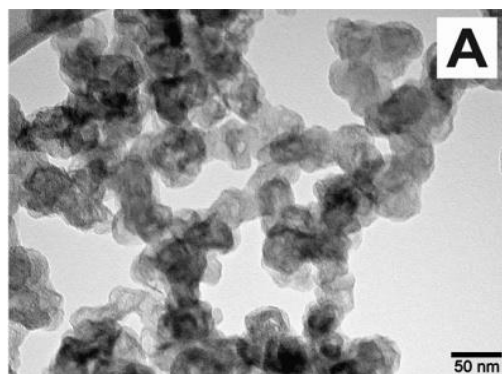
Структура композитов на основе сажи и смеси ПП с СЭБС содержанием ПП:

С – 5% масс.,

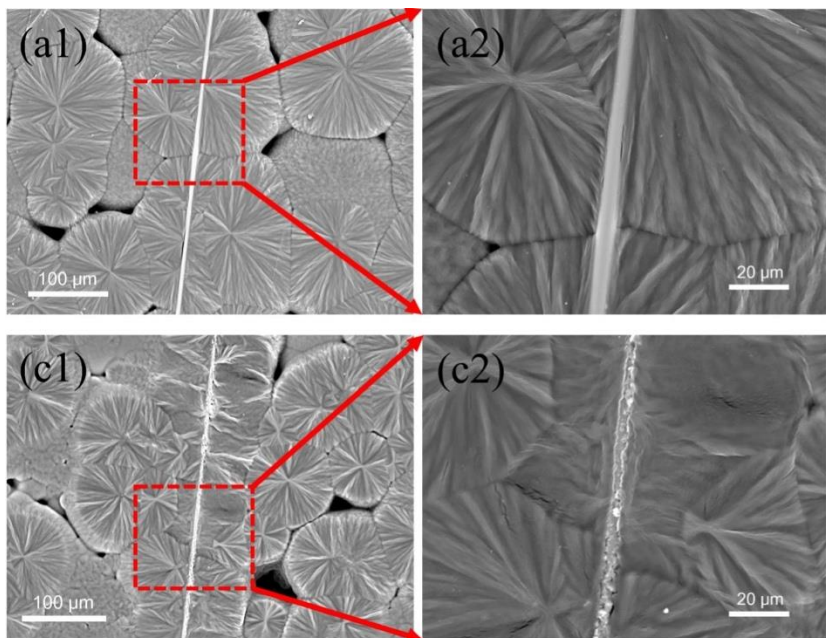
Д – 30% масс.,

Е – 50% масс.,

F – 80% масс.



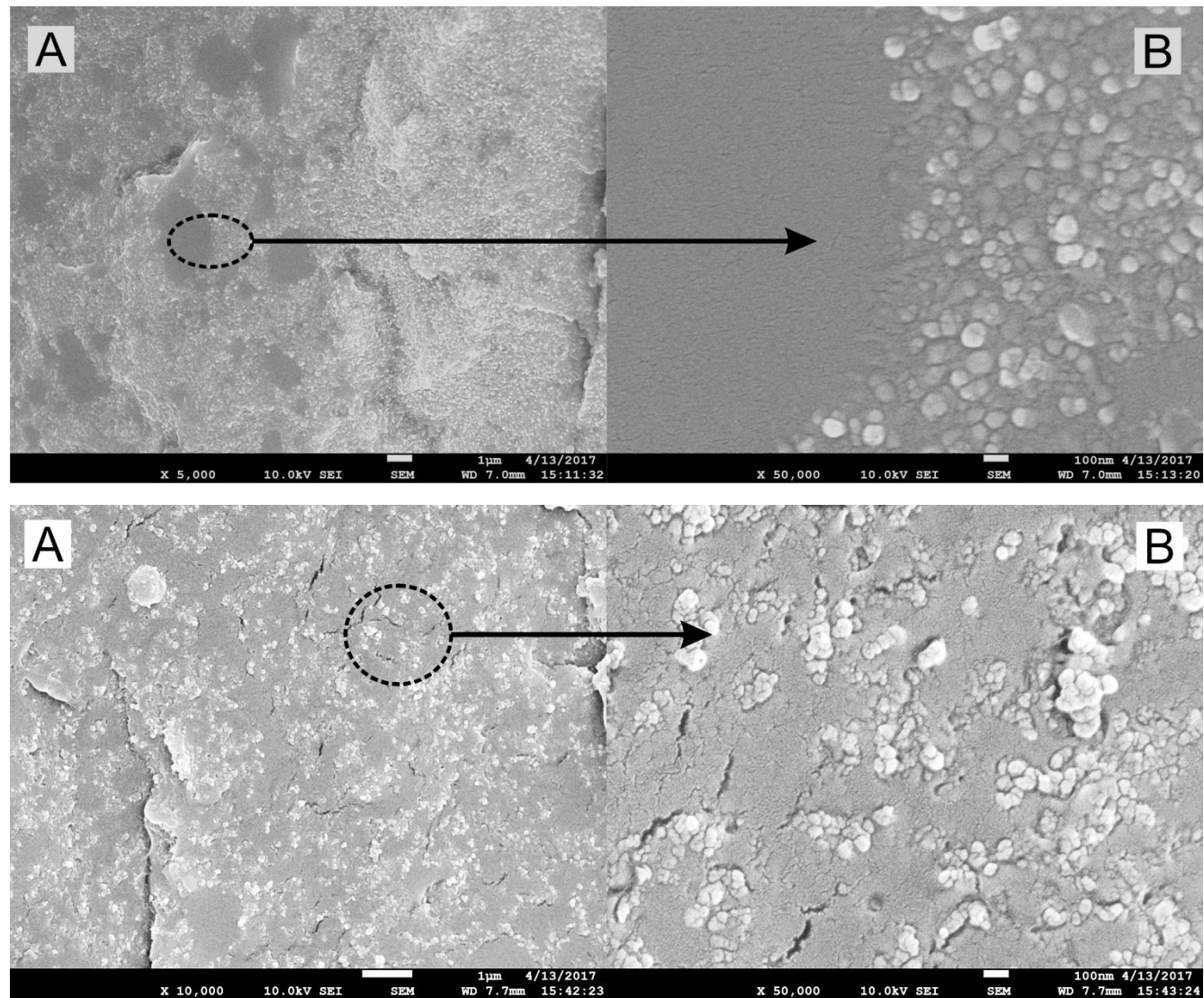
Распределение сажи в смеси полипропилена (ПП) и стирол-этилен-бутилен-стирольного каучука (СЭБС)



<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2025.109294>

ПП/СЭБС = 60/40

ПП/СЭБС = 90/10

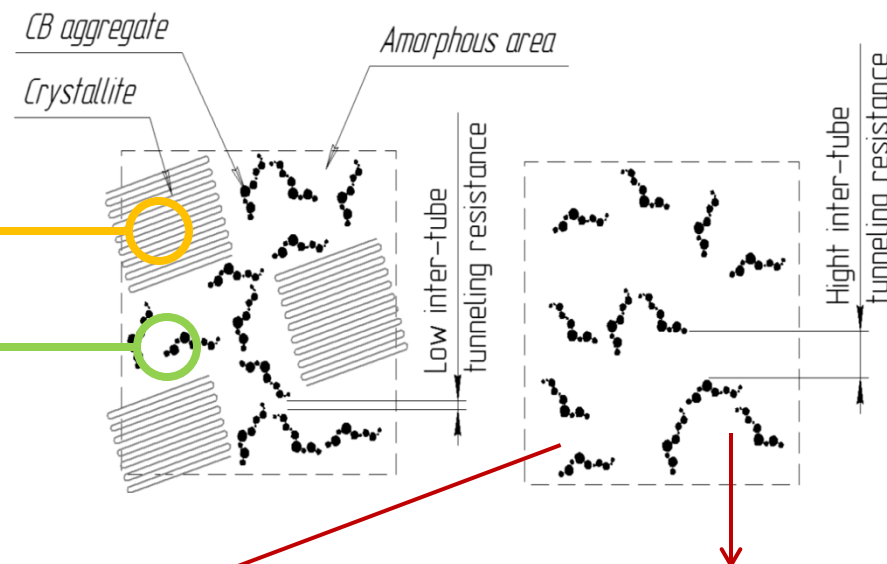
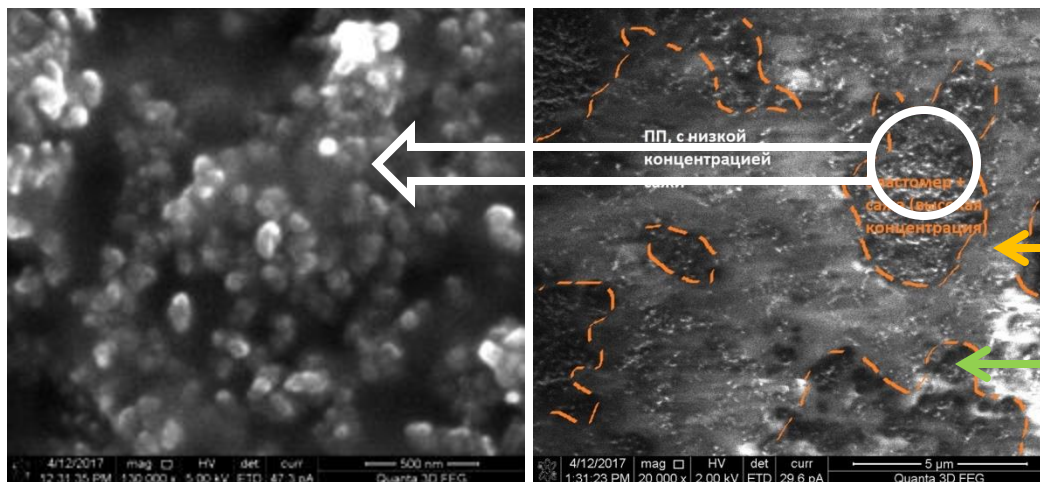


Морфология ПП в системе ПП/СЭБС/сажа

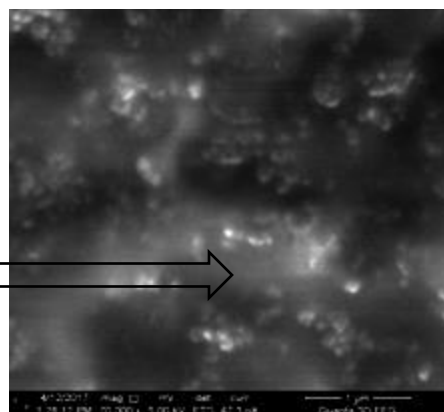
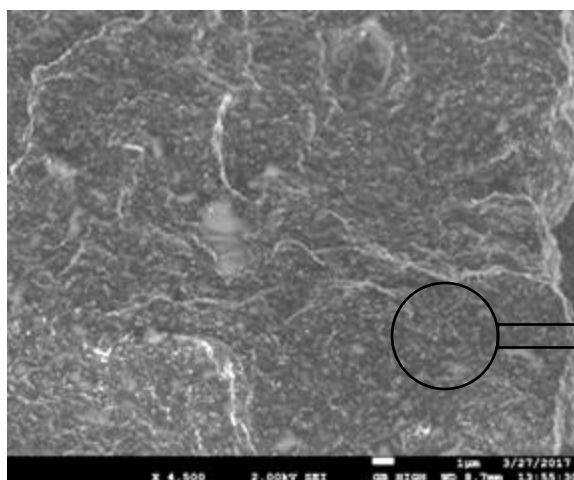
$$\sigma_{DC} = 1,1 \cdot 10^{-1}$$

Кристаллизующийся
полимер

Аморфный
полимер

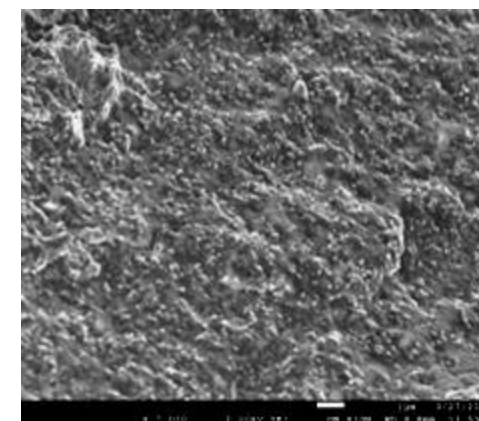


ПП
10% сажи



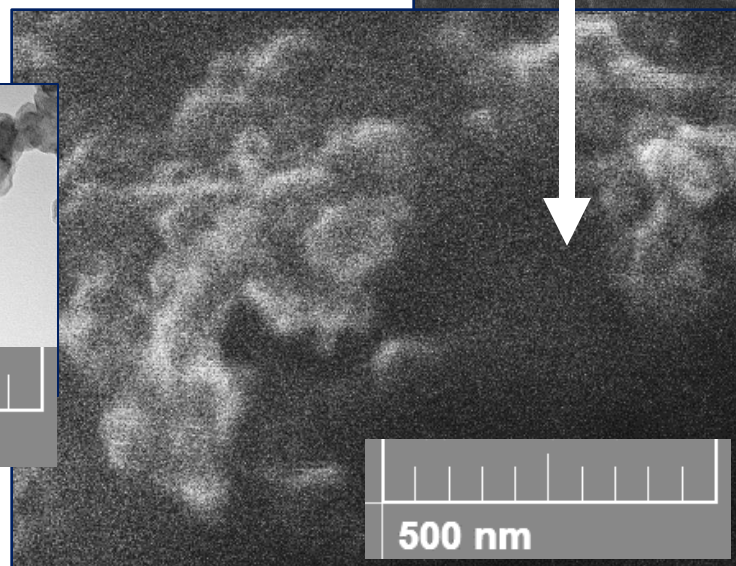
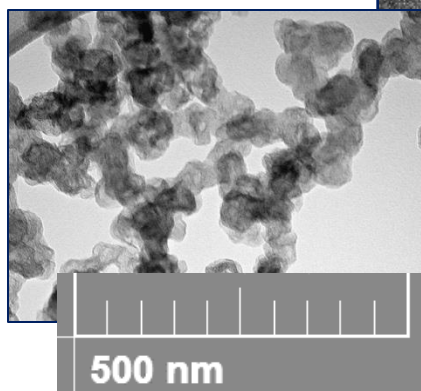
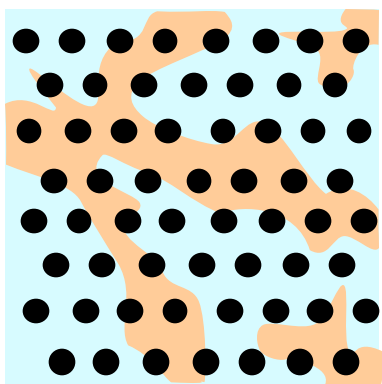
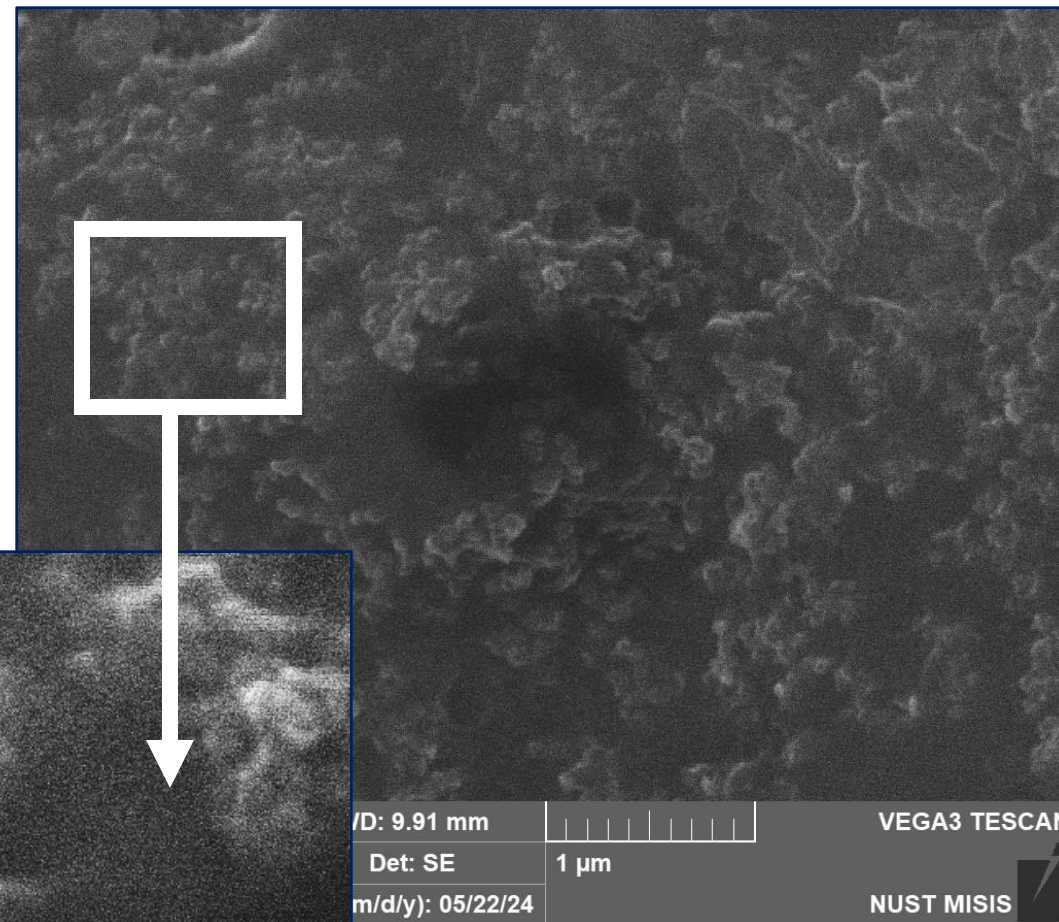
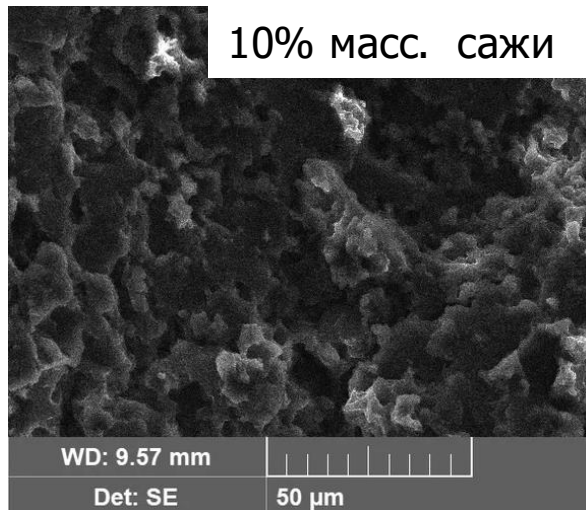
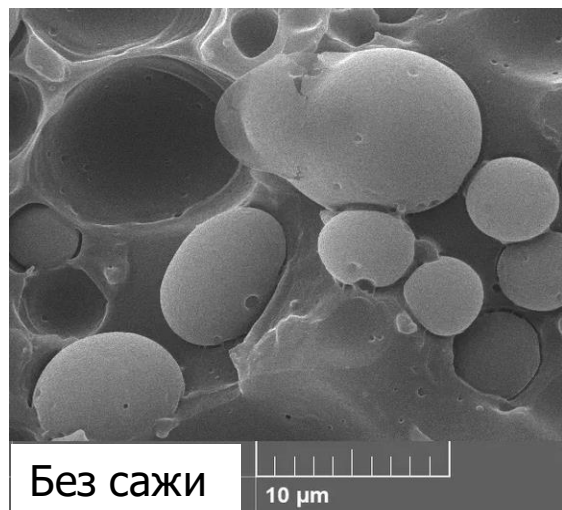
$$\sigma_{DC} = 9,4 \cdot 10^{-7}$$

СЭБС
10% сажи



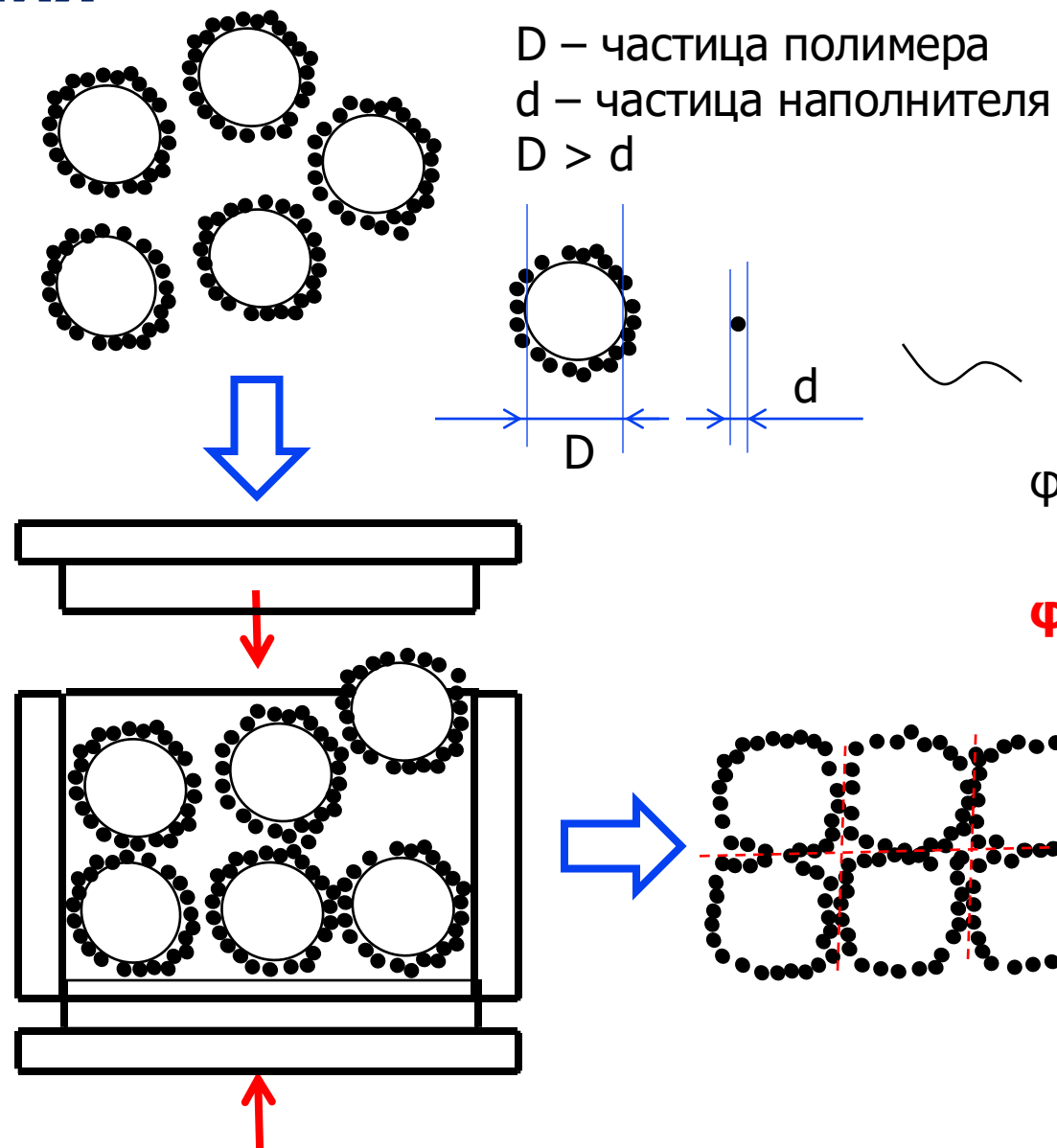
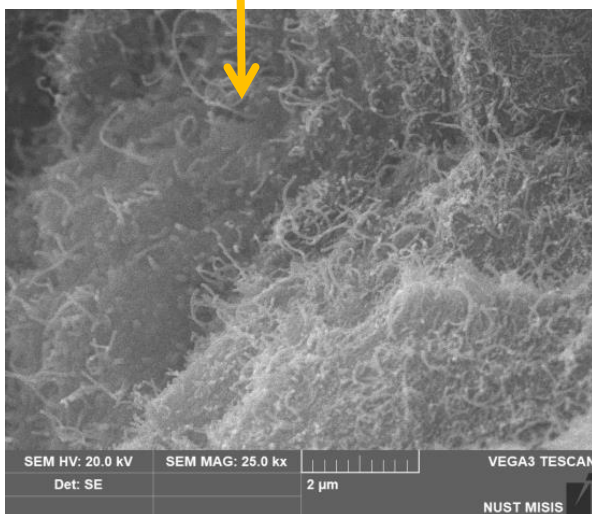
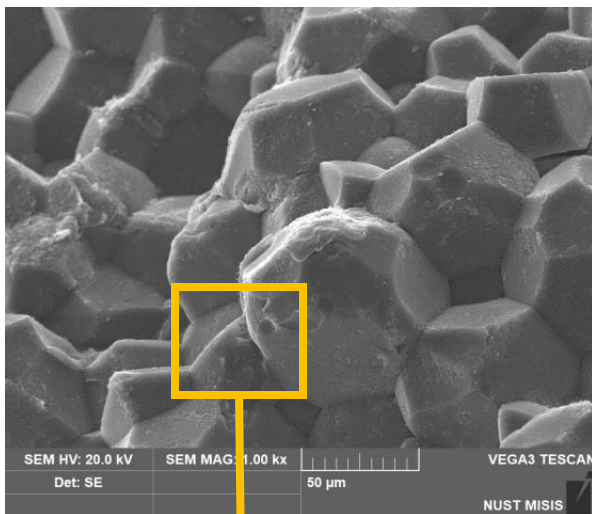
$$\sigma_{DC} = 1,1 \cdot 10^{-7}$$

Влияние сажи на структуру смесей ПЛА с СЭВА



Создание сегрегированной структуры методом уплотнения

ПММА + 0,5 % МУНТ



МУНТ:

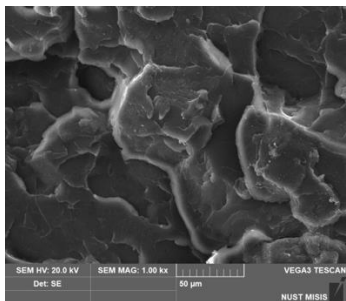
$l = 10-20 \mu\text{m}$,
 $2r = 10-20 \text{ nm}$,
 $l/2r = 1000$.

$$\Phi_{CS} = 3n / [(l/2r) \cdot (D/d)]$$

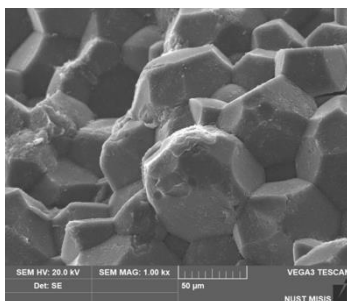
$$\Phi_{CS(\text{теор.})} = 3 \cdot 10^{-5}$$

Сегрегированные структуры в системе ПММА-Таунит-М

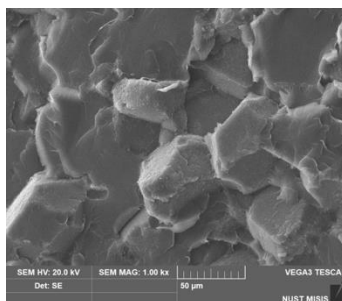
ПММА + 0,25
% МУНТ



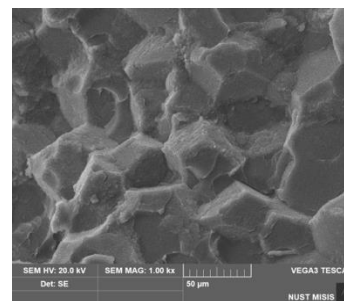
ПММА + 0,5
% МУНТ



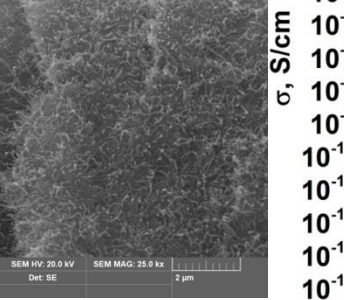
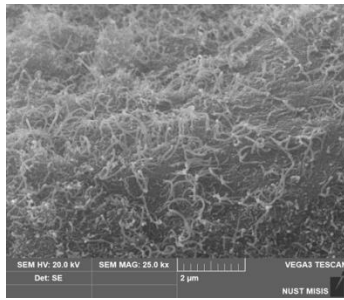
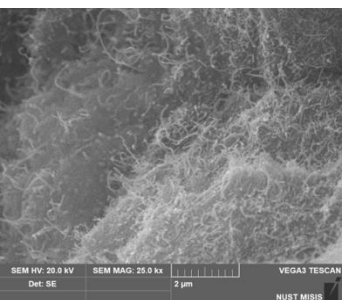
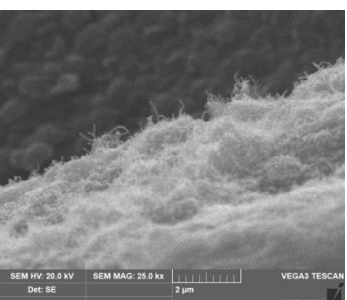
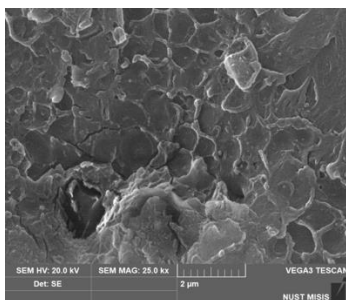
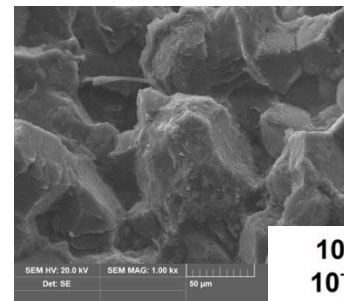
ПММА + 1 %
МУНТ



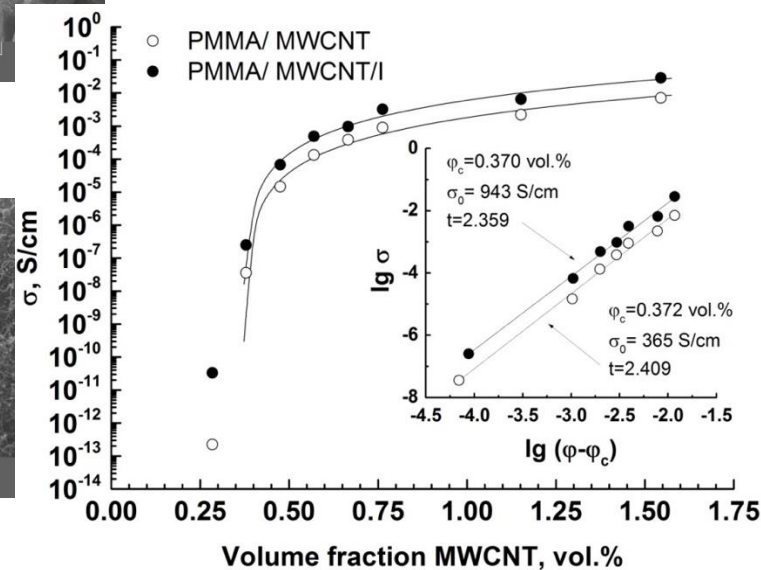
ПММА + 2 %
МУНТ



ПММА + 4 %
МУНТ

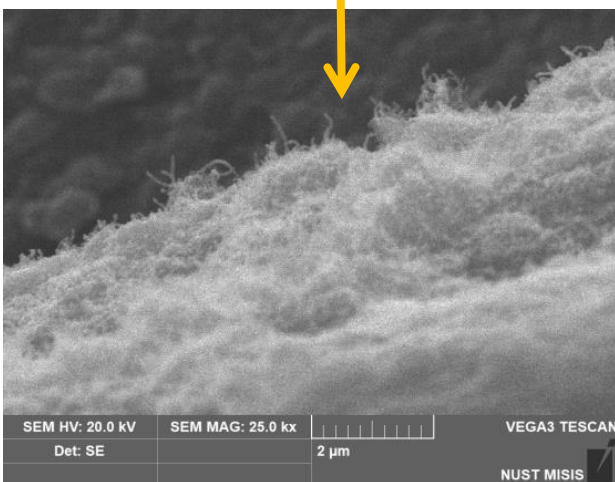
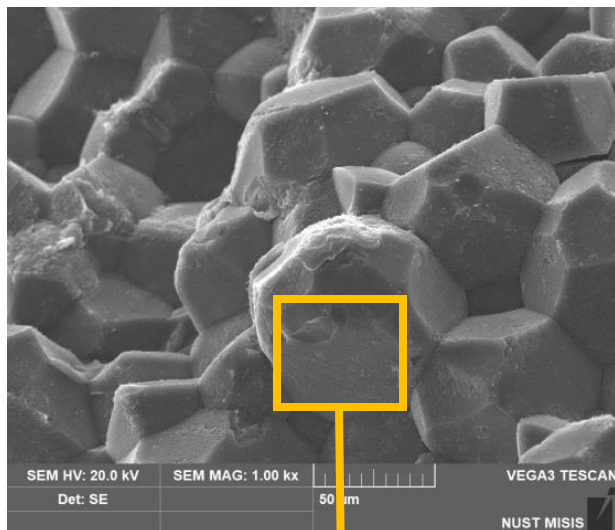


$$\Phi_{CS}(\text{практ.}) = 3,7 \cdot 10^{-1}$$

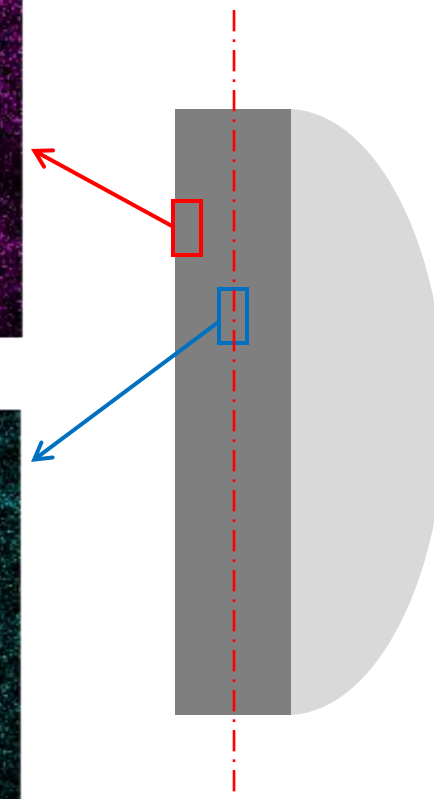
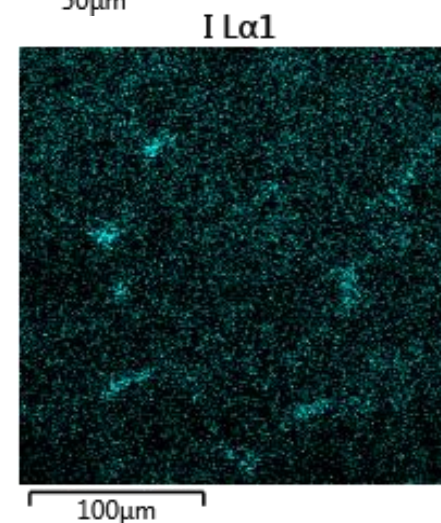
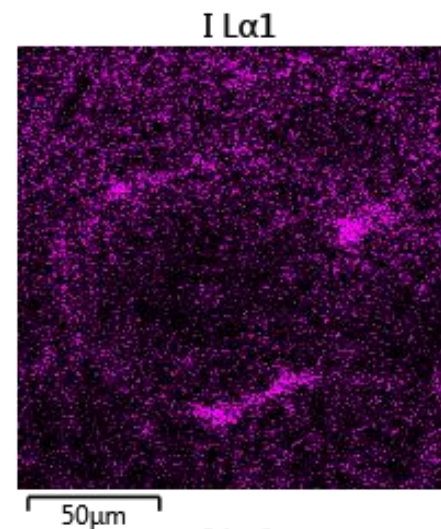
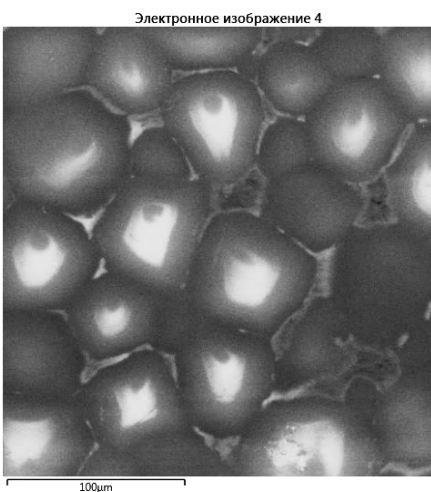
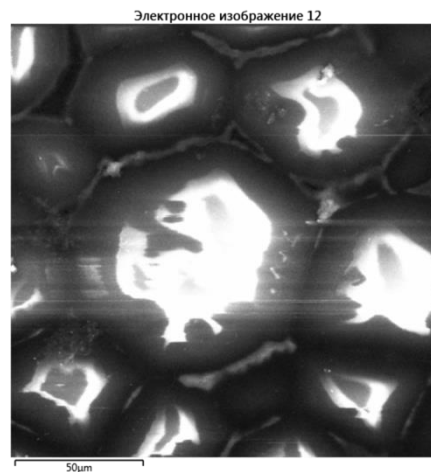


Композиты на основе порошка ПММА и МУНТ йодированные в газовой фазе

ПММА + 0,5 % МУНТ



ПММА + 0,5 % МУНТ после
газофазного галогенирования





**Спасибо
за внимание!**

Ленинский проспект, д. 4
Москва, 119049
тел. +7 (495) 955-00-32
e-mail: kancela@misis.ru
misis.ru