

# ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОЙ ЧИСТОТЫ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО УРАНА НА СКОРОСТИ ЗВУКА ПРИ ЕГО ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

А.К. Якунин, А.Г. Попцов, Д.Г. Панкратов

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»  
г. Снежинск, Россия



**РФЯЦ-ВНИИТФ**

**Предприятие Госкорпорации «Росатом»**

XIV ЗНЧ, 21 марта 2019, Снежинск

# Введение

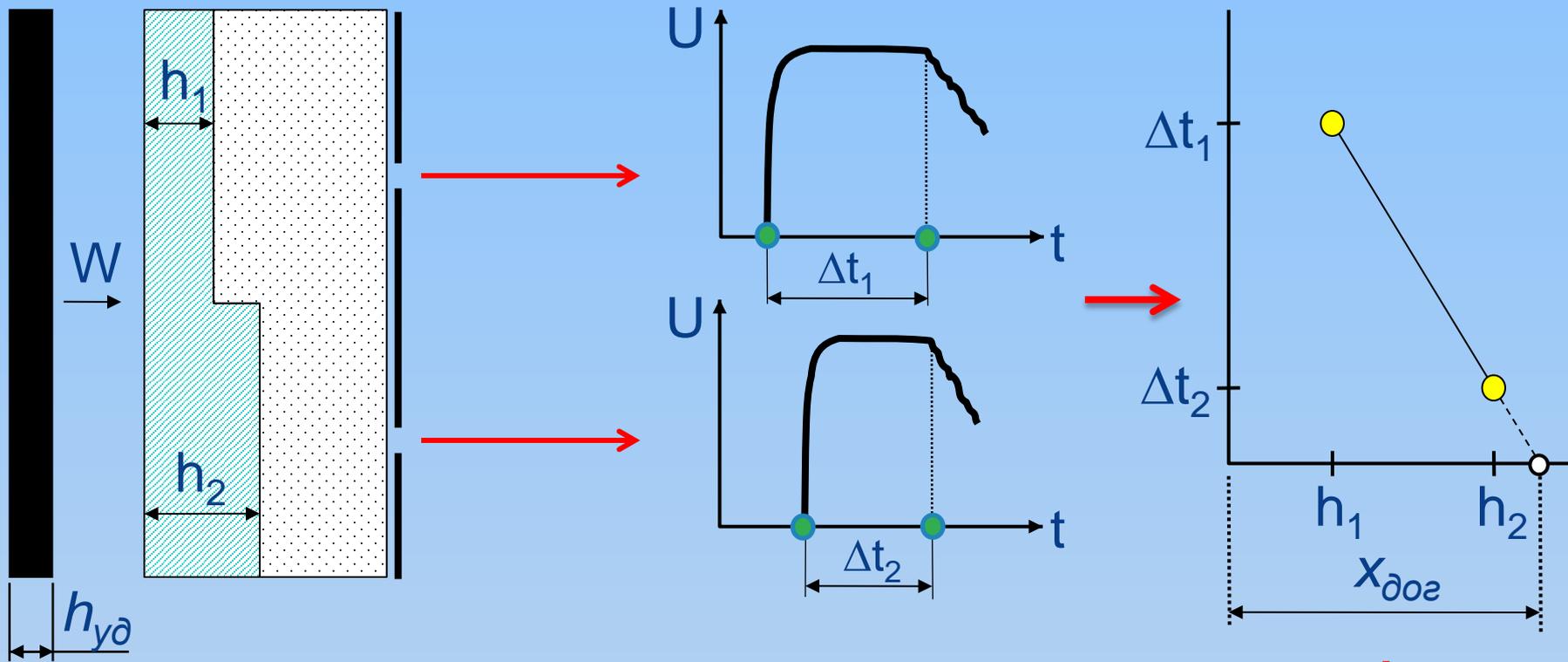
Измерения скоростей звука в ударно-сжатых материалах позволяют получить информацию об их упруго-пластических свойствах – упругих модулях.

Так как упругие модули разных фаз одного и того же материала существенно различаются, то по скачкообразному изменению зависимостей  $C_L$  ( $\sigma_{xx}$ ) и  $C_B$  ( $\sigma_{xx}$ ) можно судить об изменении фазового состава материала вдоль его ударной адиабаты.

## Цель работы

- Оценить влияние исходной чистоты мелкозернистого урана на скорость звука, при его ударно-волновом нагружении и определить условия плавления.

# Метод, положенный в основу измерения скоростей звука

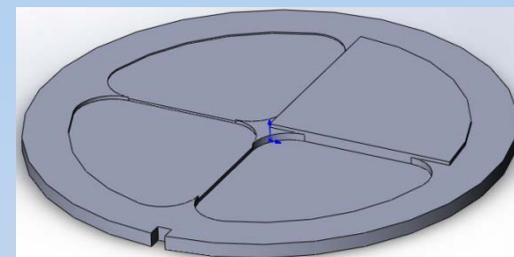
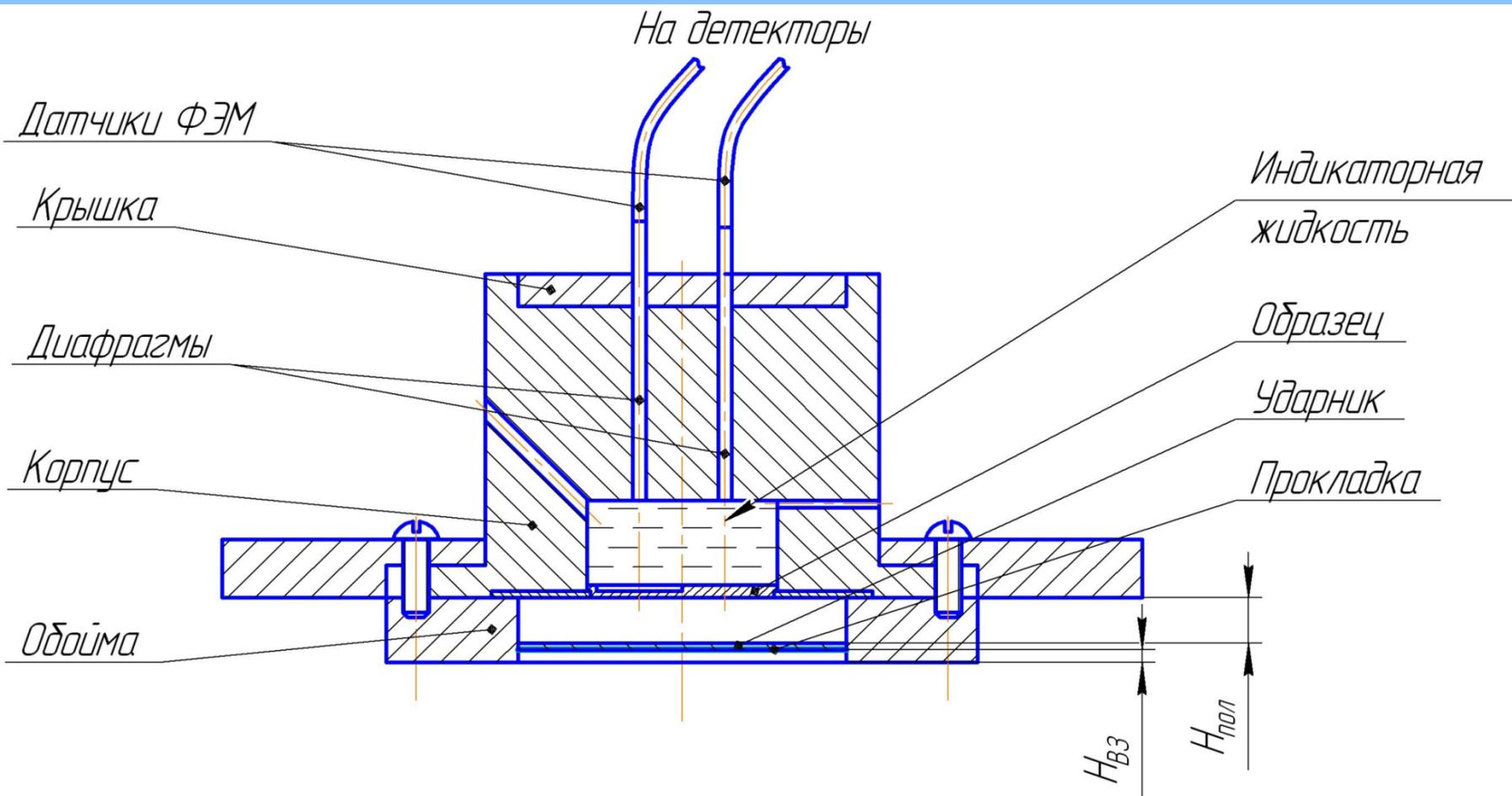


## «несимметричный» удар

$$c^{обп} = \frac{c^{y\delta} \cdot D^{y\delta} \cdot R - u^{обп} (c^{y\delta} + u^{обп} + D^{y\delta} - W)}{c^{y\delta} \cdot \frac{D^{y\delta}}{D^{обп}} \cdot R - (c^{y\delta} + u^{обп} + D^{y\delta} - W)}$$

$$R = x_{дог} / h_{y\delta}$$

# Эскиз экспериментального узла



## ОБРАЗЦЫ

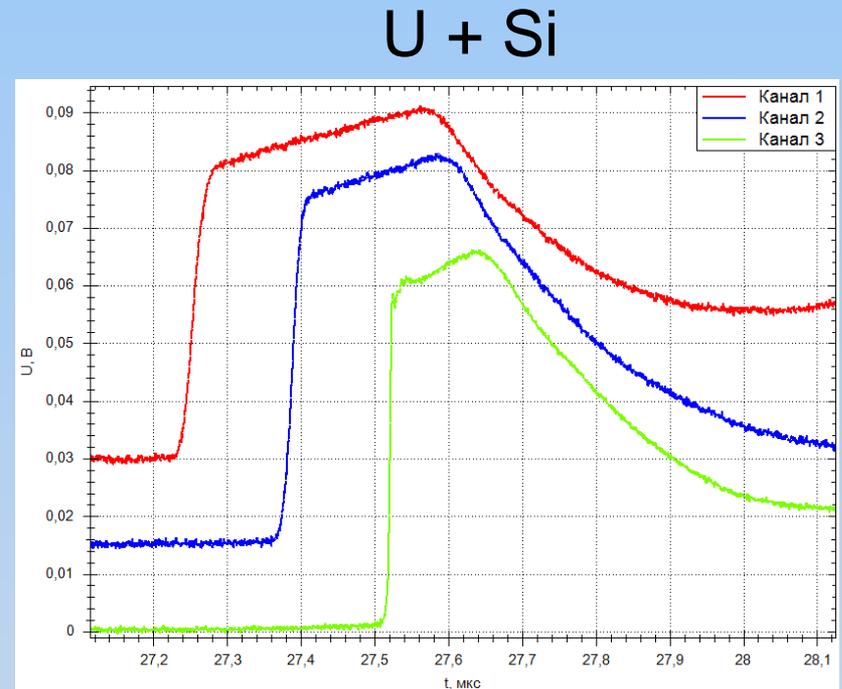
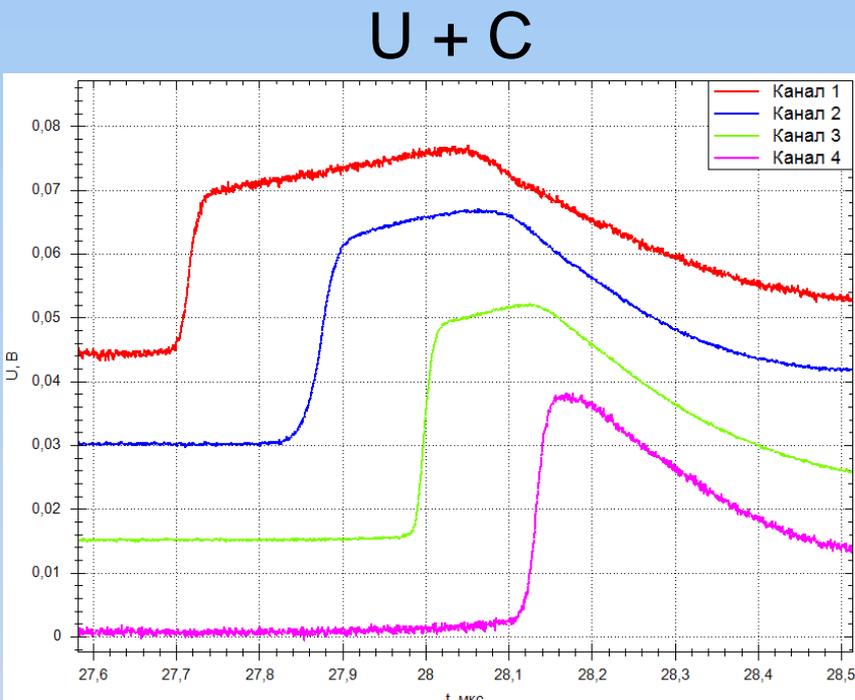
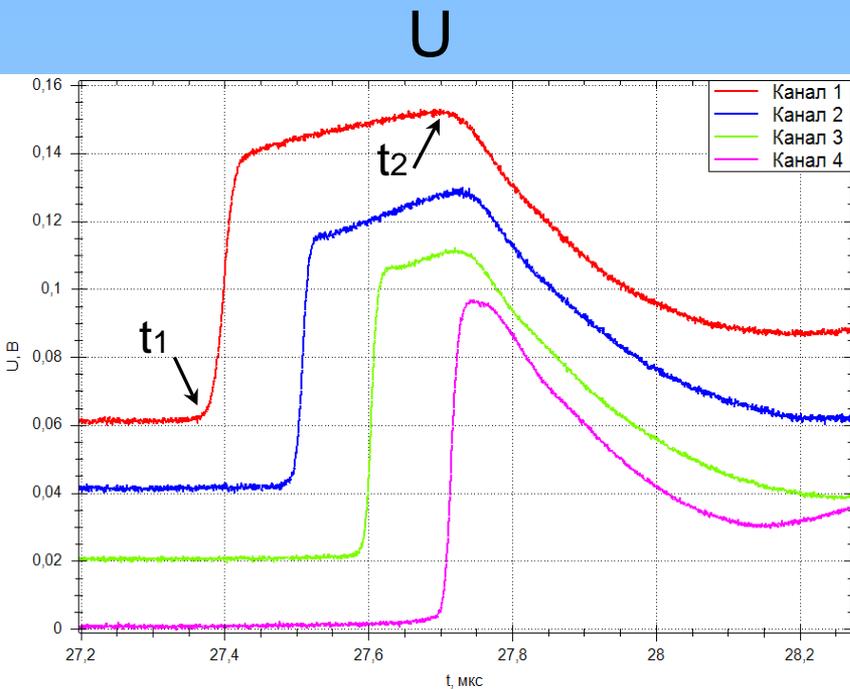
- U (99,98%) → U
- U (99,89%) + C (0,084%) → U + C
- U (99,84%) + Si (0,130%) → U + Si

# Полученные осциллограммы

ударник из стали 12X18H10T 1 мм

$$\underline{W = 4,77 \text{ км/с}}$$

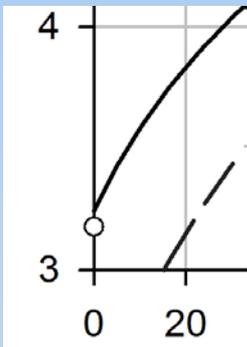
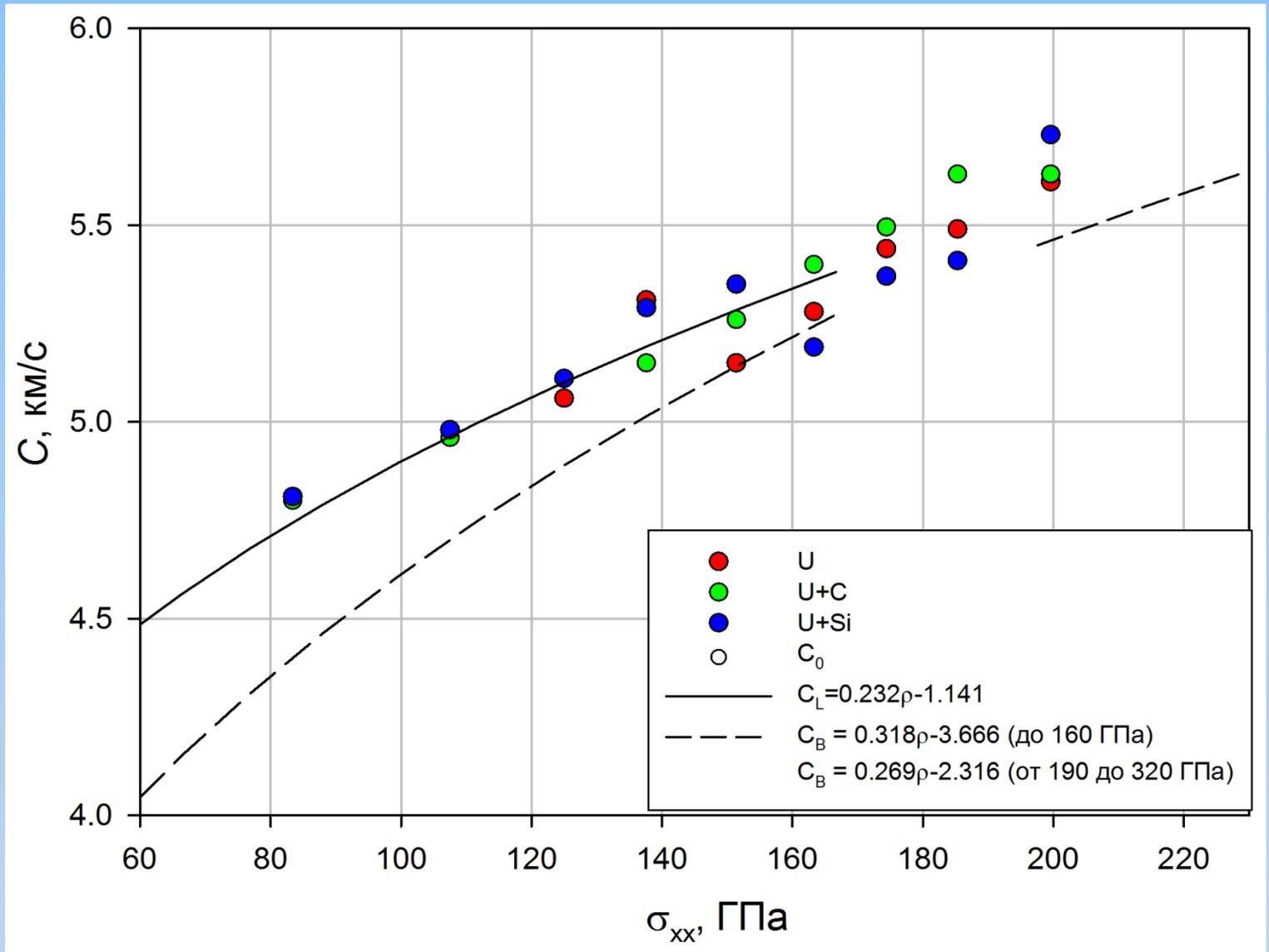
$$\underline{\sigma_{xx} = 199,6 \text{ ГПа}}$$



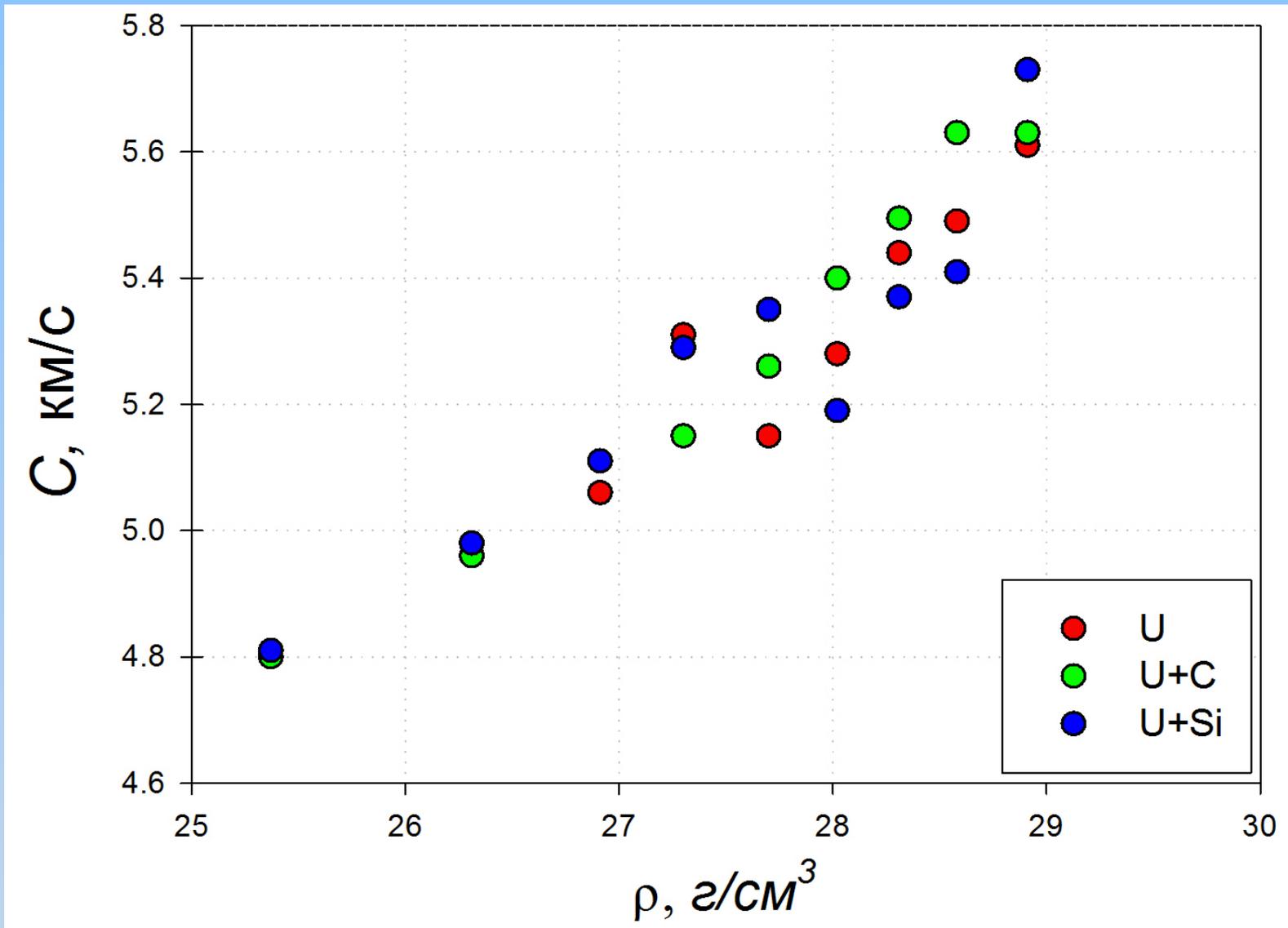
# Результаты измерений скорости звука

$W_{уд}$ км/с	$\sigma_{xx}$ расчёт, ГПа	<b>U</b>	<b>U + C</b>	<b>U + Si</b>
		$C_{эксн}$ , км/с	$C_{эксн}$ , км/с	$C_{эксн}$ , км/с
2,56	83,4	-	$4,80 \pm 0,29$	$4,80 \pm 0,29$
3,12	107,5	-	$4,96 \pm 0,30$	$4,98 \pm 0,30$
3,47	125,0	$5,06 \pm 0,30$	$5,11 \pm 0,31$	$5,11 \pm 0,31$
3,71	137,6	$5,31 \pm 0,32$	$5,15 \pm 0,31$	$5,29 \pm 0,32$
3,96	151,4	$5,15 \pm 0,31$	$5,26 \pm 0,32$	$5,35 \pm 0,32$
4,17	163,3	$5,28 \pm 0,32$	$5,40 \pm 0,32$	$5,19 \pm 0,31$
4,36	174,4	$5,44 \pm 0,33$	$5,50 \pm 0,33$	$5,37 \pm 0,32$
4,54	185,3	$5,49 \pm 0,33$	$5,63 \pm 0,34$	$5,41 \pm 0,32$
4,77	199,6	$5,61 \pm 0,34$	$5,63 \pm 0,34$	$5,73 \pm 0,34$

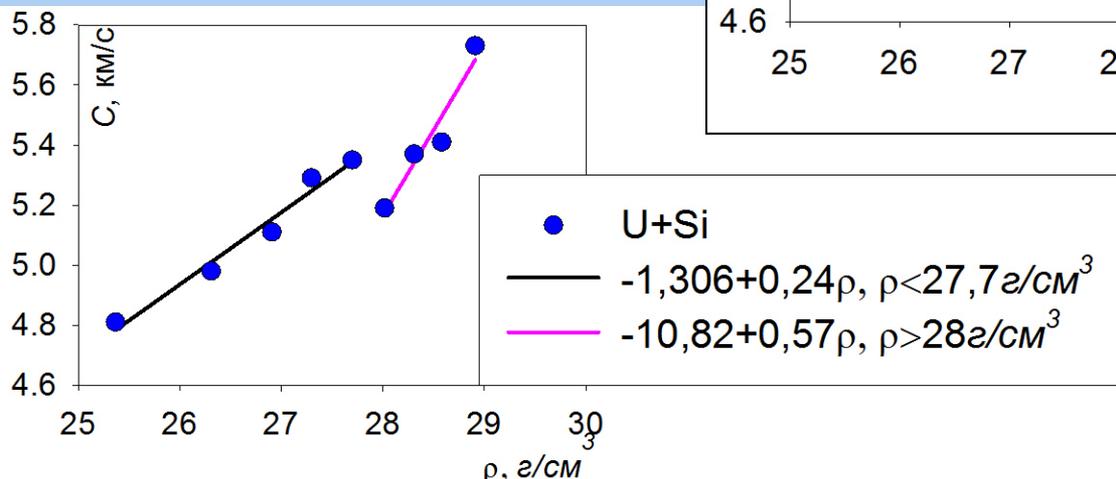
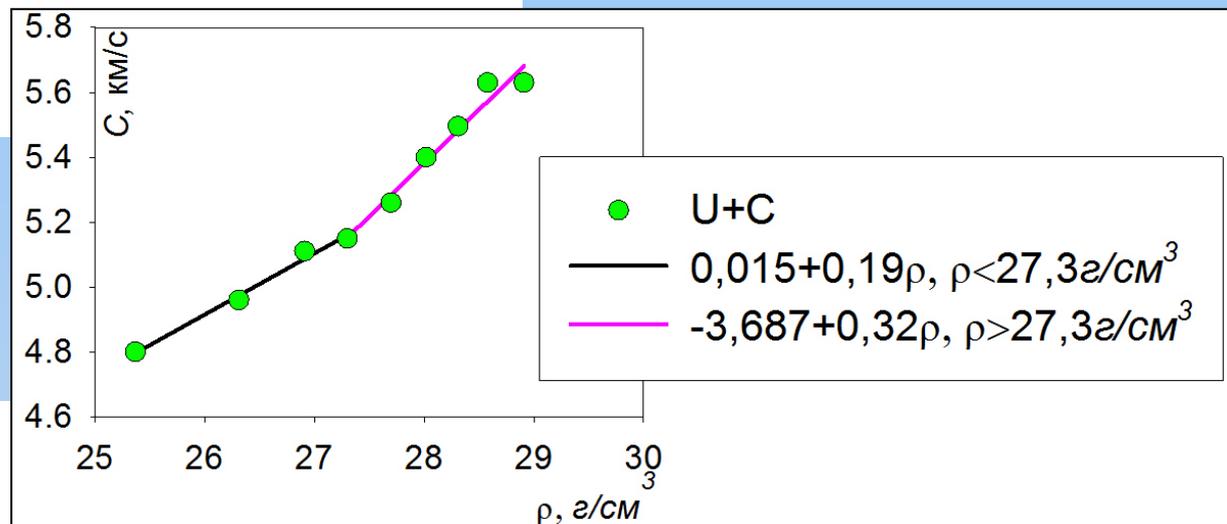
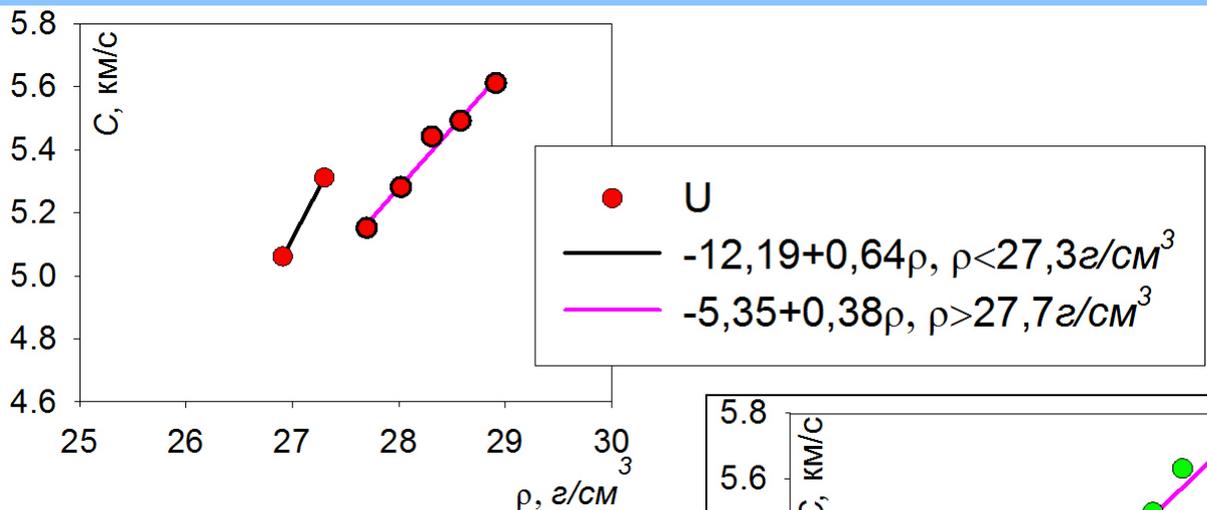
# Зависимость скорости звука в ударно-сжатом уране от напряжения ударного сжатия



# Зависимость скорости звука от плотности урана за фронтом ударной волны



# Зависимость скорости звука от плотности урана за фронтом ударной волны



## Выводы

- ▶ Измерена скорость звука для мелкозернистого урана, в том числе микролегированного углеродом и кремнием в интервале напряжений однократного ударного сжатия  $\sigma_{xx} = 80 \dots 200$  ГПа
- ▶ Построены зависимости скоростей звука от напряжения ударного сжатия и от плотности урана за фронтом ударной волны
- ▶ Результаты экспериментов не выявили влияния микролегирования на скорость звука и, соответственно, на оценки начала плавления