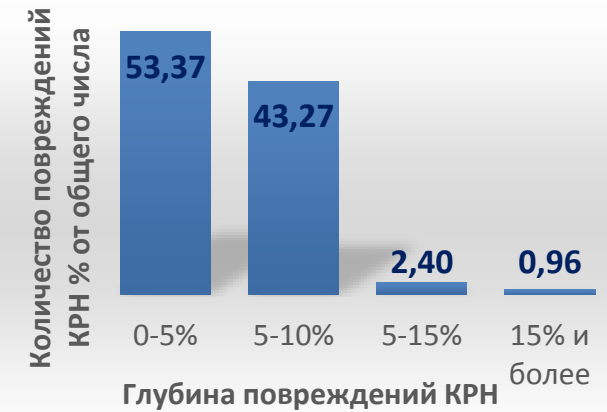
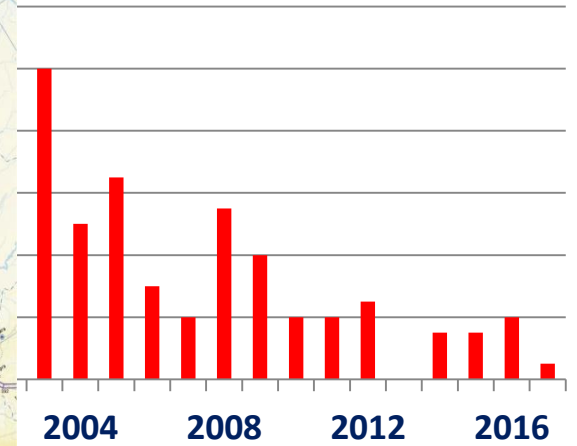


# Коррозионное растрескивание металла труб на магистральных газопроводах: ретроспектива и новые задачи

А.Б. Арабей (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

# Характеристики аварийности МГ



## КРН в средах с высоким pH («high pH SCC»)

Первые аварии – США, 1960-е гг.

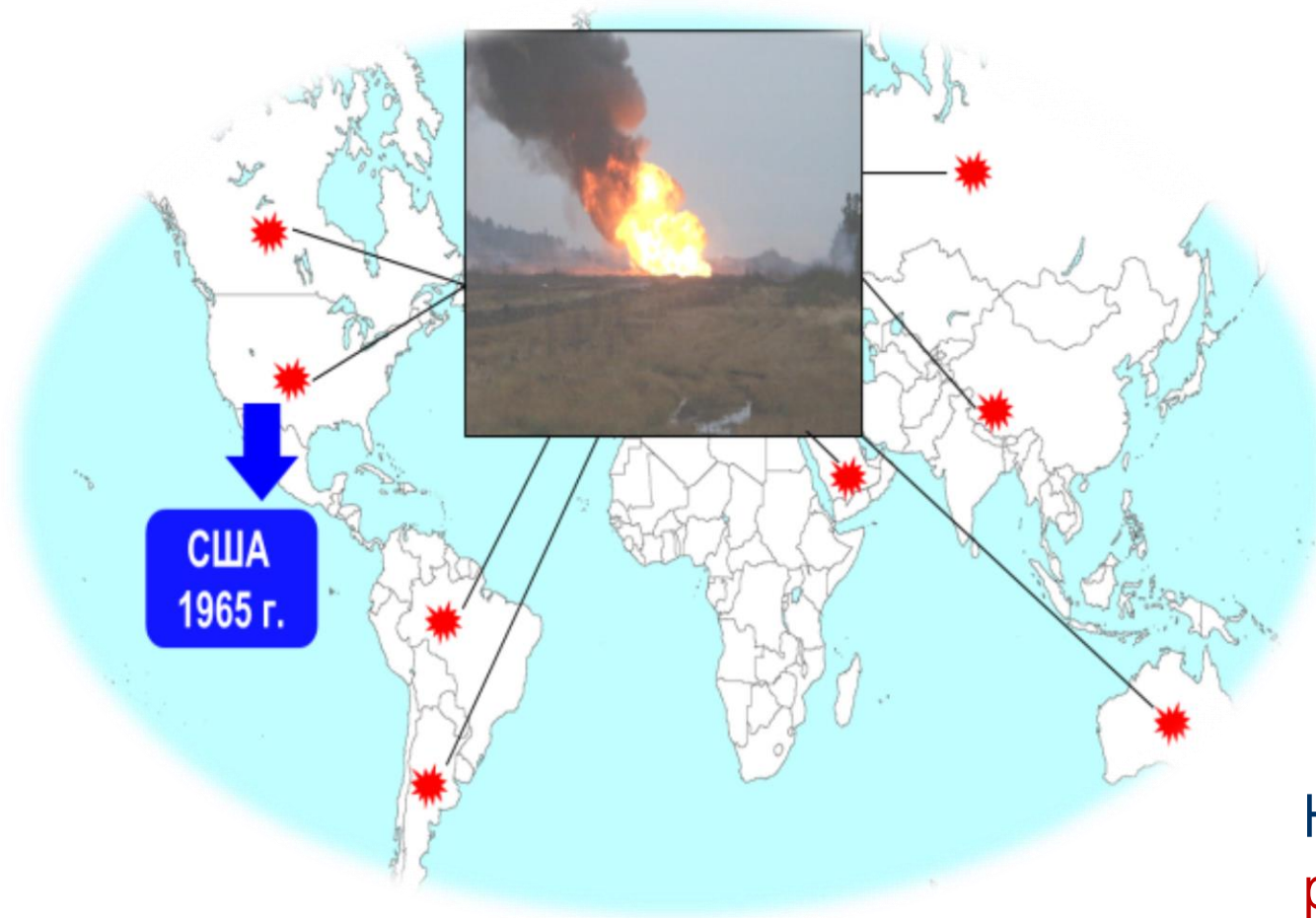
Первые аварии в СССР - в конце 70-х г. на газопроводах, проложенных в пустынных и полупустынных районах Средней Азии и Казахстана

**концентрированные карбонатные электролиты**

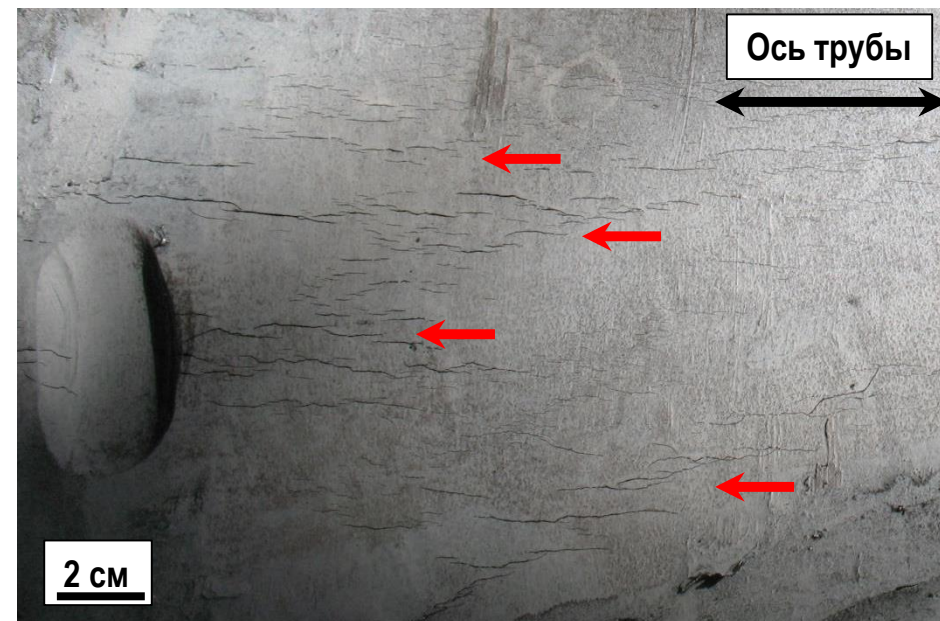
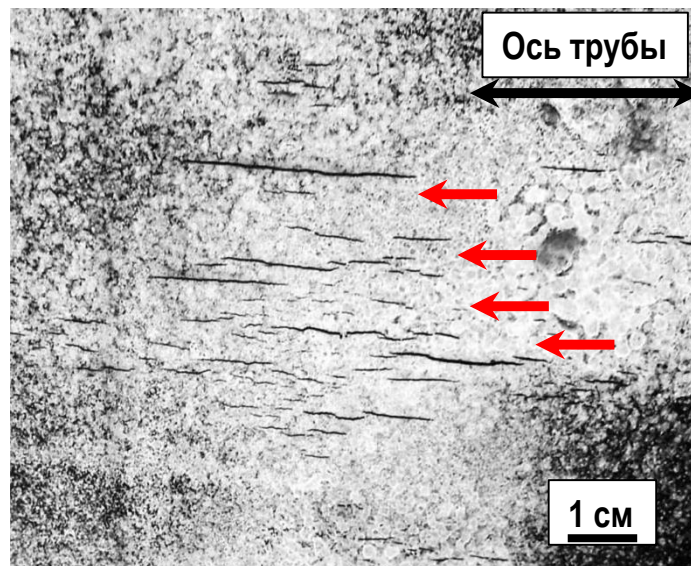
## КРН в средах с нейтральным pH («near-neutral pH SCC»)

Начиная с 1980-х гг. аварии в Канаде, России

**разбавленные карбонатные электролиты**



# Причины и последствия КРН





Dilute  $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$  electrolytes (0.001–0.01 mol/L, pH 5.5 ... 7.5)

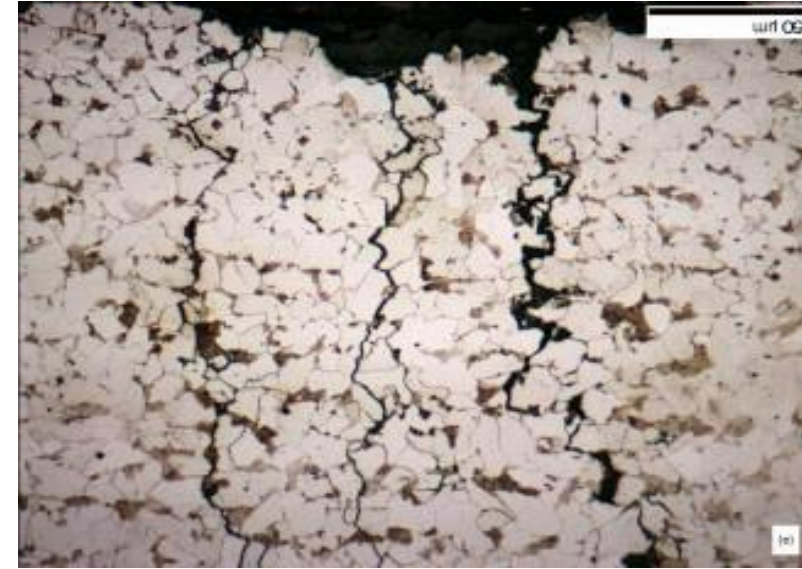
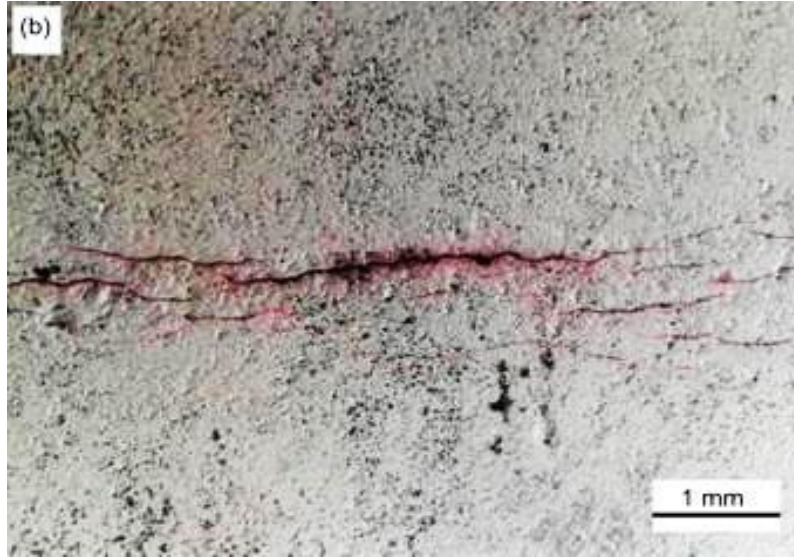
Transgranular, wide cracks with etched walls

$V_{\text{SCC}}$  (temperature) - direct dependence is not exhibited

$E_{\text{cor}}$  in the region of active dissolution potentials

Canada, Russia – early 80s,  
first failures

Western Siberia, the Urals, and  
the northern regions  
of the European part of Russia



First failure – USA, 1964

USSR – late 70s,  
 in the desert and semi-desert  
 regions of Central Asia and  
 Kazakhstan

1 case in Russia

Concentrated carbonate-bicarbonate (from 0.1 to >1.0 mol/L, pH > 9.3)

Intergranular, narrow, without corrosion products on the crack walls

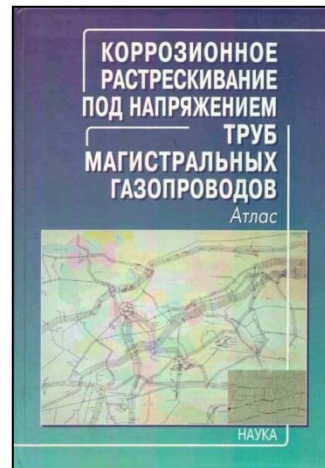
$V_{SCC}$  increases exponentially with increasing temperature

$E_{cor}$  in a narrow range of potentials around the active–passive transition

## Publications in European and Russian scientific magazines in 2016–2017

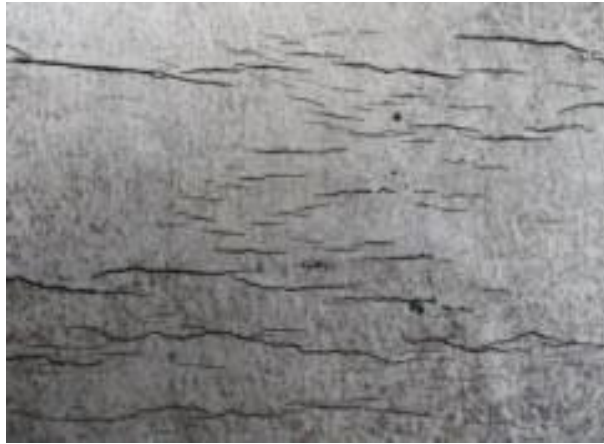


## Stress-Corrosion Cracking of Main Gas Pipelines: Atlas – 2006



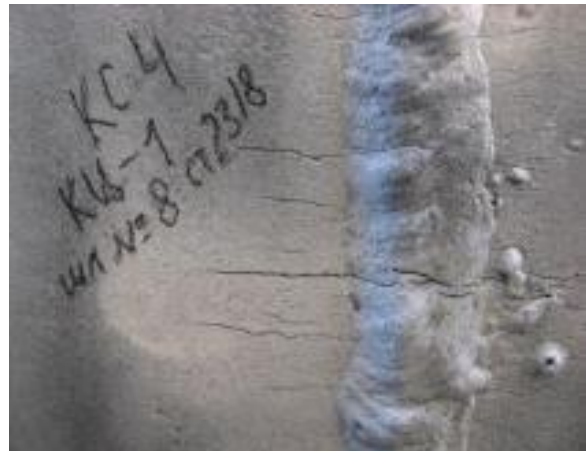
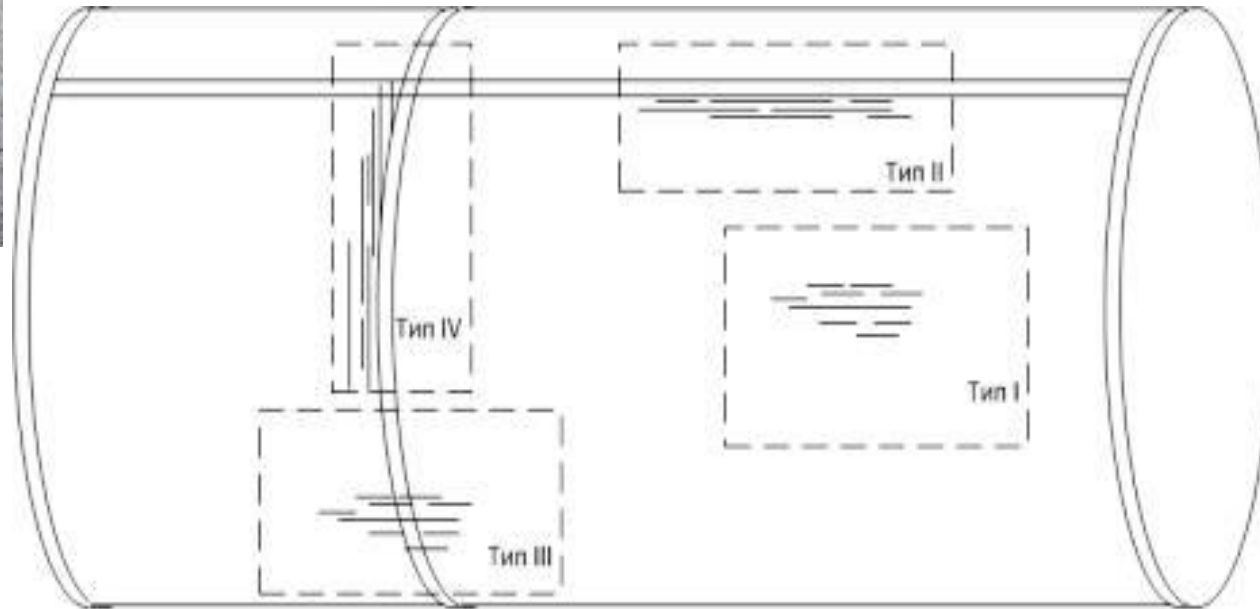
## STO Gazprom ...2007, ...2010, ...2011





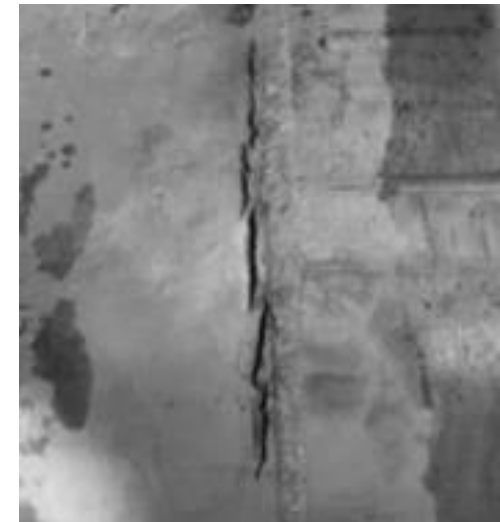
I. Base metal

II. Longitudinal weld

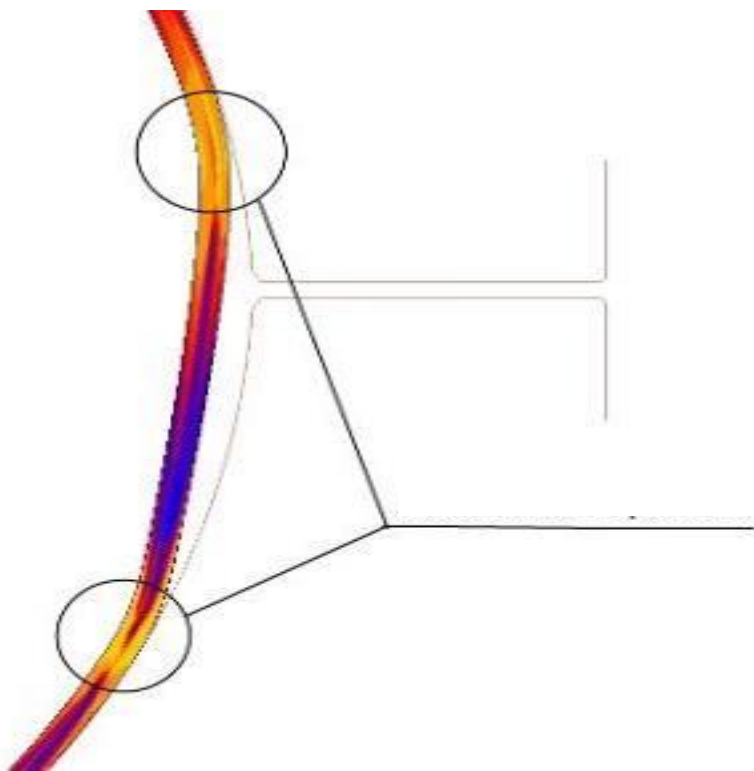
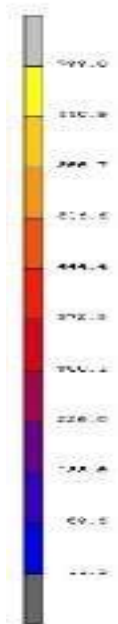


III. Transverse weld seam

IV. Transverse cracks







Stress by pressure + Residual stresses = Total stress

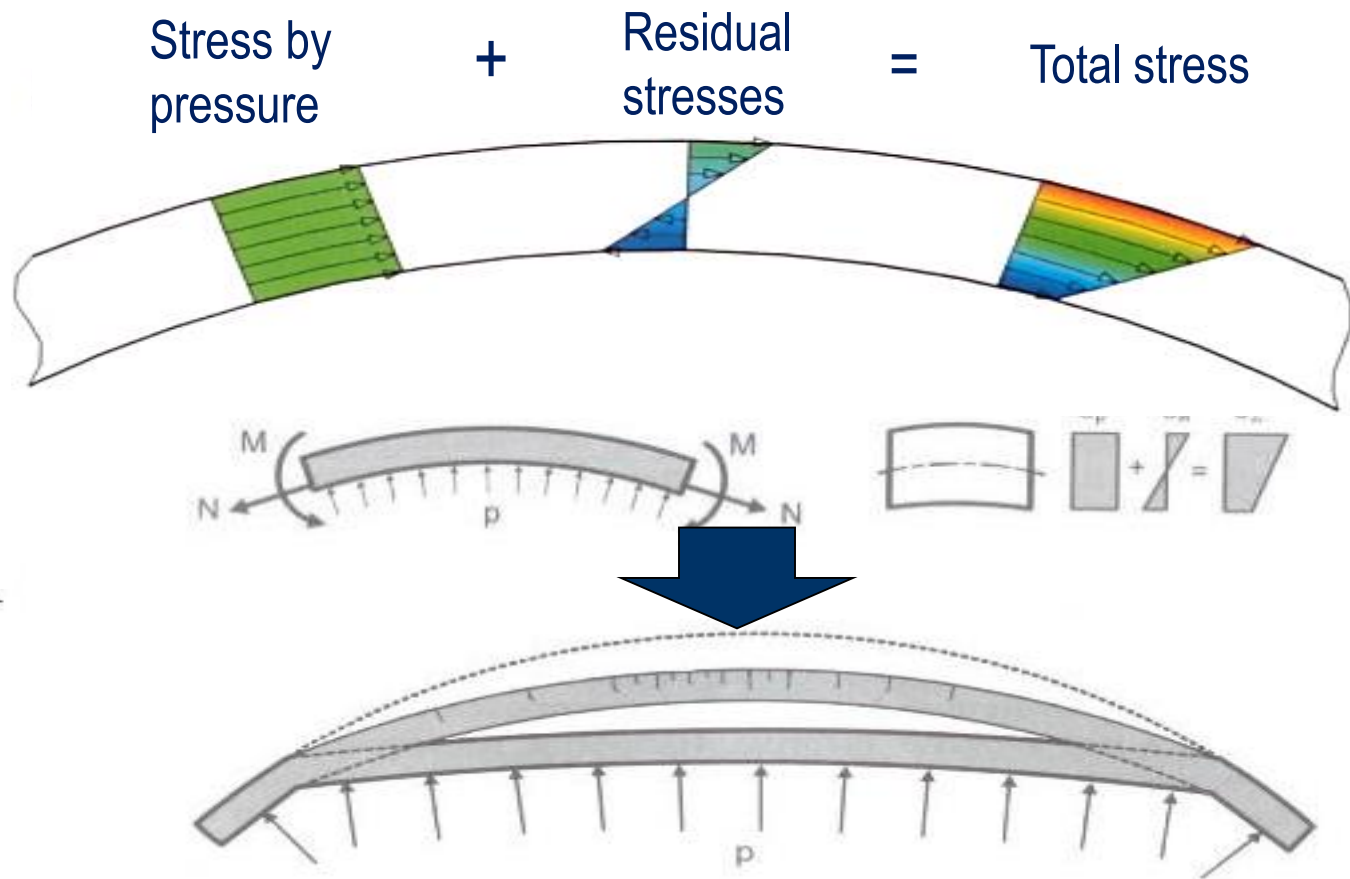


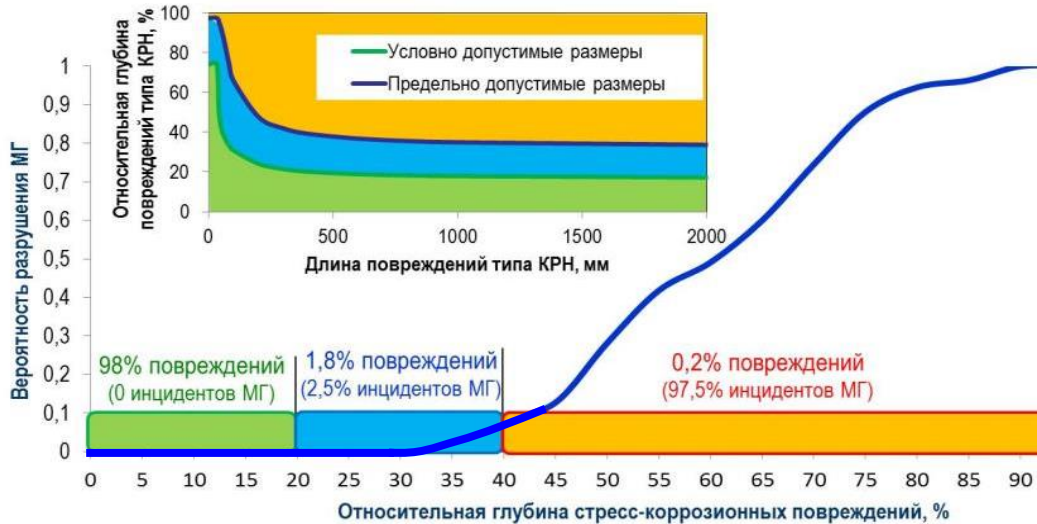
схема: ВТД – шурфовка - труба с КРН-развилка: замена (утиль) с % труб, шлифовка с %труб;

Крупно :

- средние физические объемы ремонтов в ретроспективе 5-10 лет (либо график по годам);
- доля новых труб в отремонтированном участке.

# Меры профилактики повреждений КРН

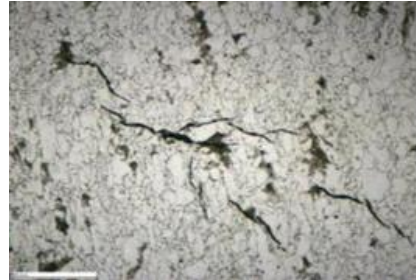
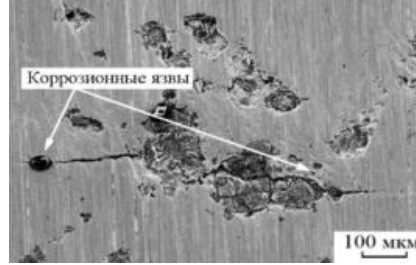
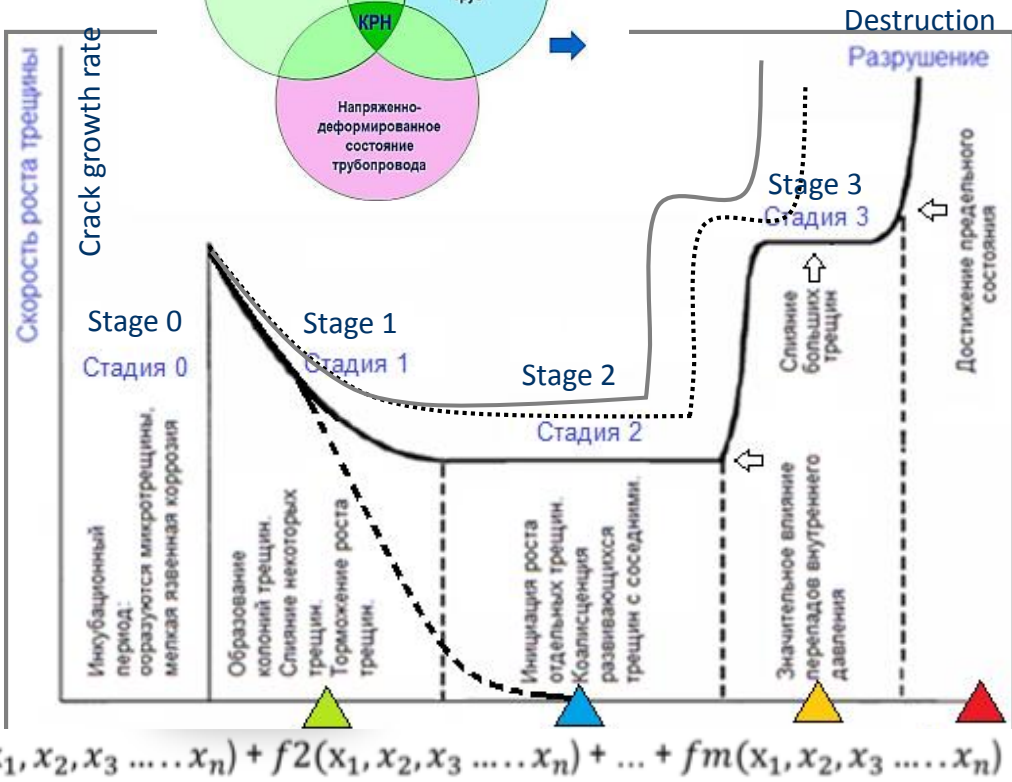
- КРН глубиной до 30 % от толщины стенки трубы не становились причиной разрушения МГ
- 99 % доля вырезаемых труб при ремонте МГ с указанными дефектами
- 1 % МГ, ремонтируется ежегодно, что существенно ниже потребности СУТСЦ ГТС



- 92 % повреждений КРН ниже порога обнаружения ВТД
- Плотность труб с КРН глубиной менее 10 % от стенки трубы составляет около 50%
- Повышение точности ВТД приведет к 10-кратному увеличению потребности обследований в шурфах при действующих нормативах

# Новые подходы к профилактике повреждений КРН

Факторы, влияющие на появление и развитие повреждений труб по механизму КРН



Formation of microcracks from local corrosive pits



Formation of cracks colonies



Interaction of cracks in the colony

- ❑ Stage 0. The incubation period before the formation of cracks
  - коррозионно-электрохимические исследования;
  - металлографический анализ
- ❑ Stage 1. Education, initial growth and stabilization of cracks
  - рентгеноструктурные исследования;
  - коррозионно-механические испытания;
  - микроскопические исследования
- ❑ Stage 2. Development of the constant rate crack
- ❑ Stage 3. Development of the main crack
- ❑ Stage 4. Fracture

## Measurements defects SCC



## Residual wall thickness



## Working group



# Новые подходы к профилактике повреждений КРН

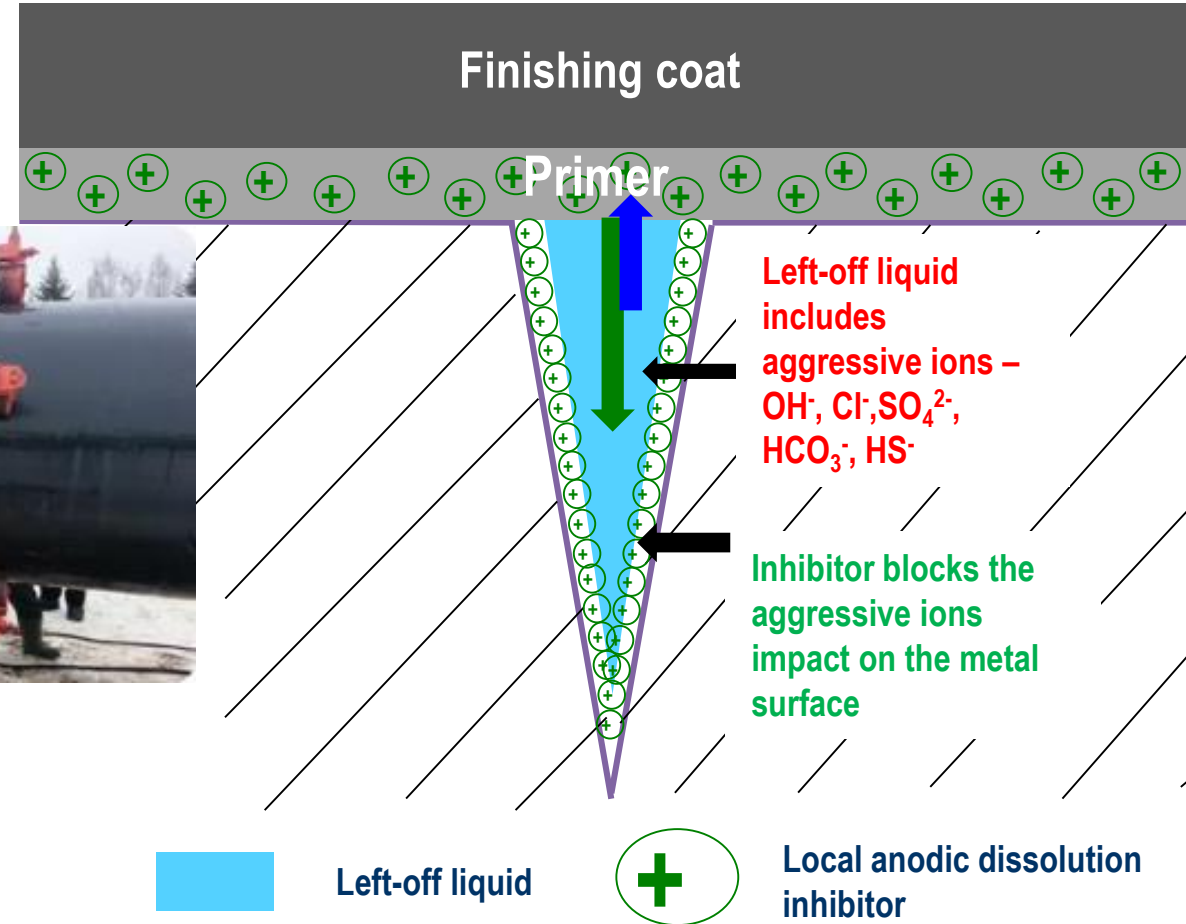
## Re-coating pipes with SCC defects

Exploitation:  
Pipes re-insulation

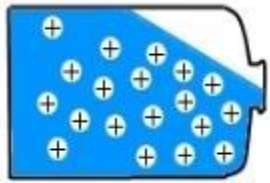
Test production of pipes



Re-Insulation coating process



During making process inhibitor is added to the primer



Inhibitor reservoir



Primer inhibitor

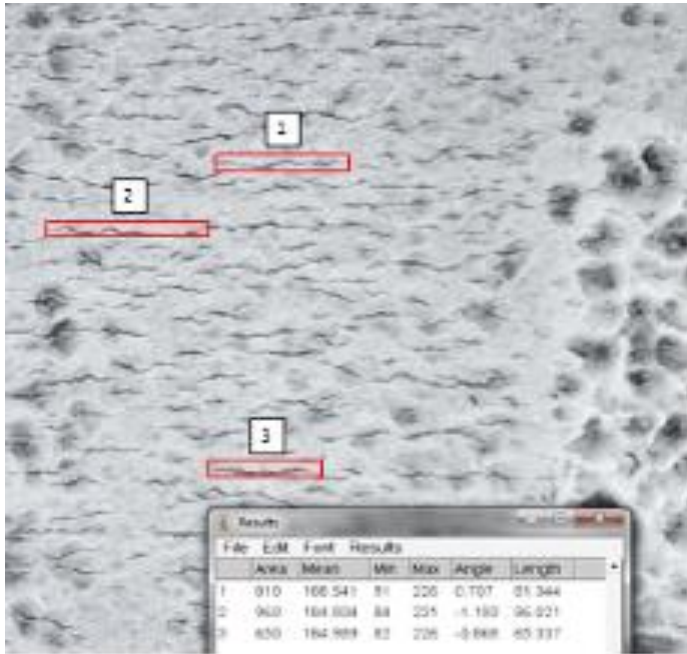


Left-off liquid



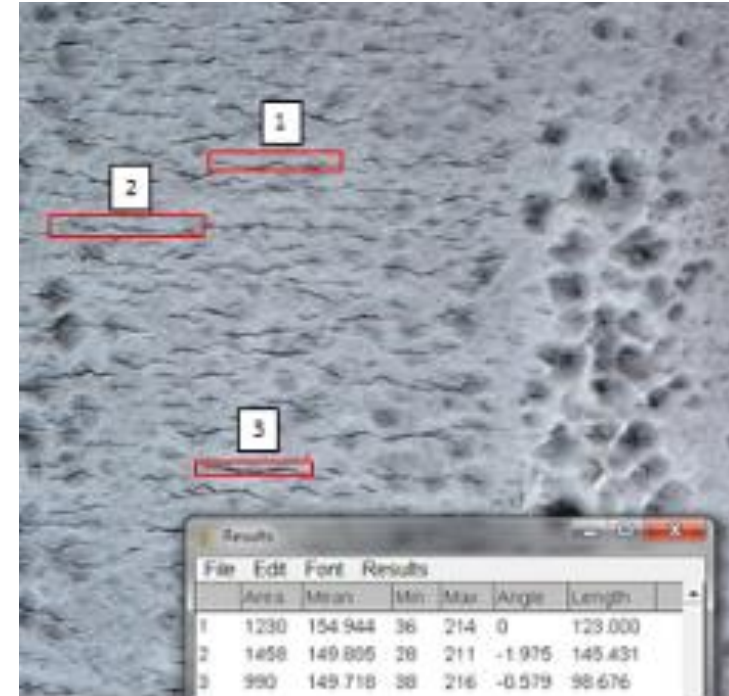
Local anodic dissolution inhibitor

December 2015

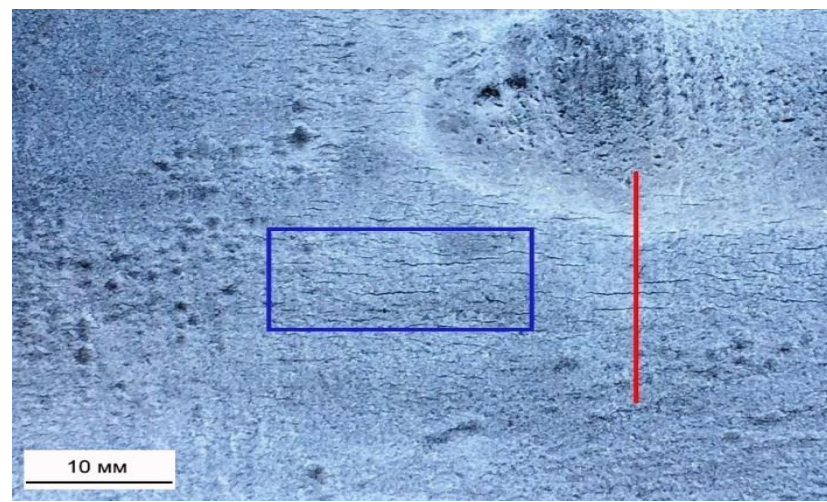


№	Scale 4,8 pics.\mm
1	7,92 mm
2	7,40 mm
3	17,94 mm

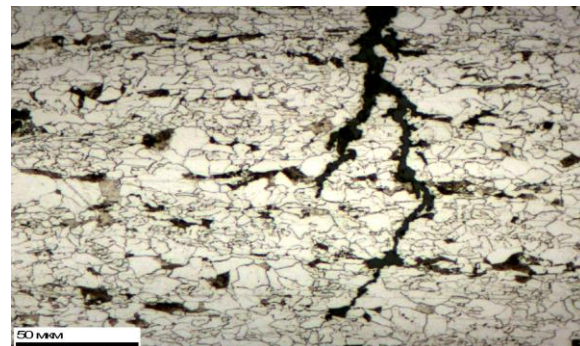
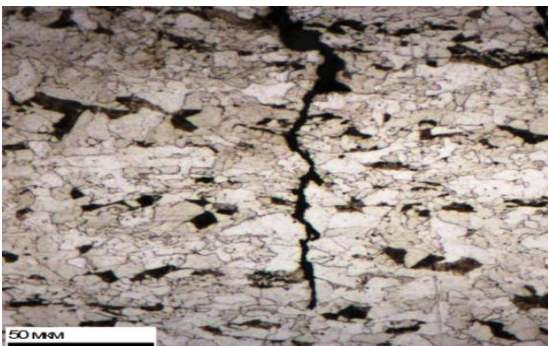
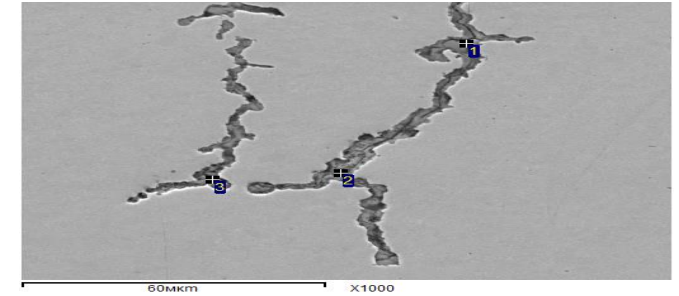
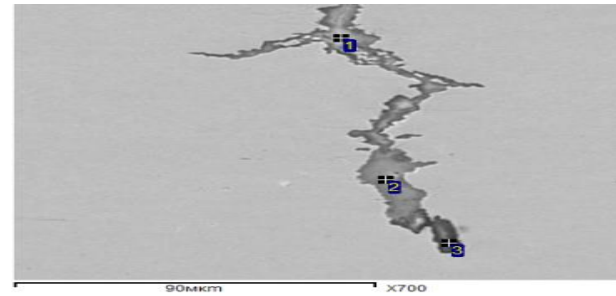
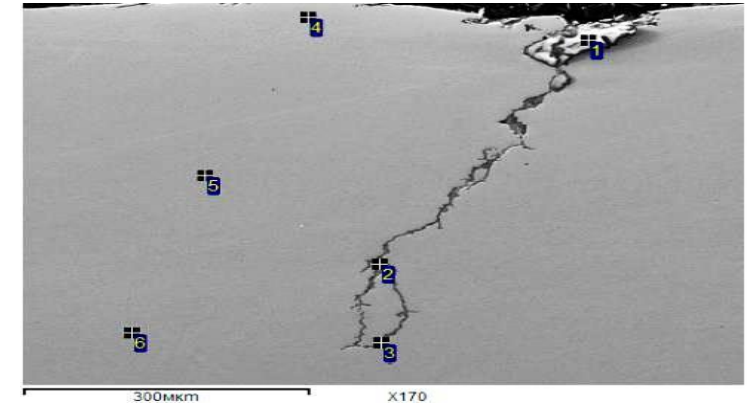
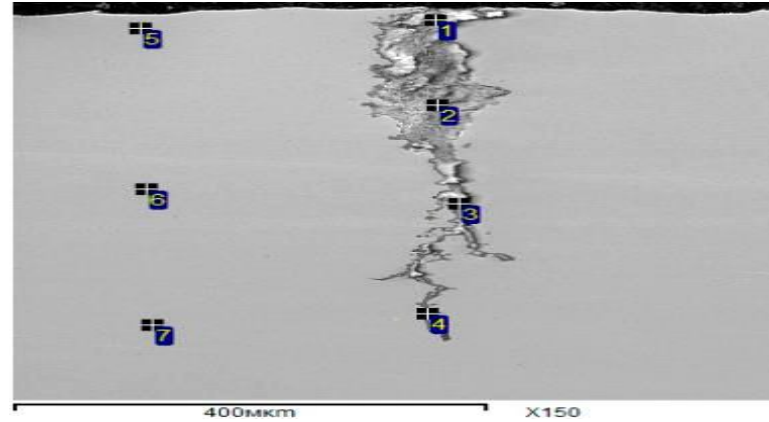
December 2019



№	Scale 6,5 pics.\mm
1	7,88 mm
2	7,39 mm
3	17,98 mm

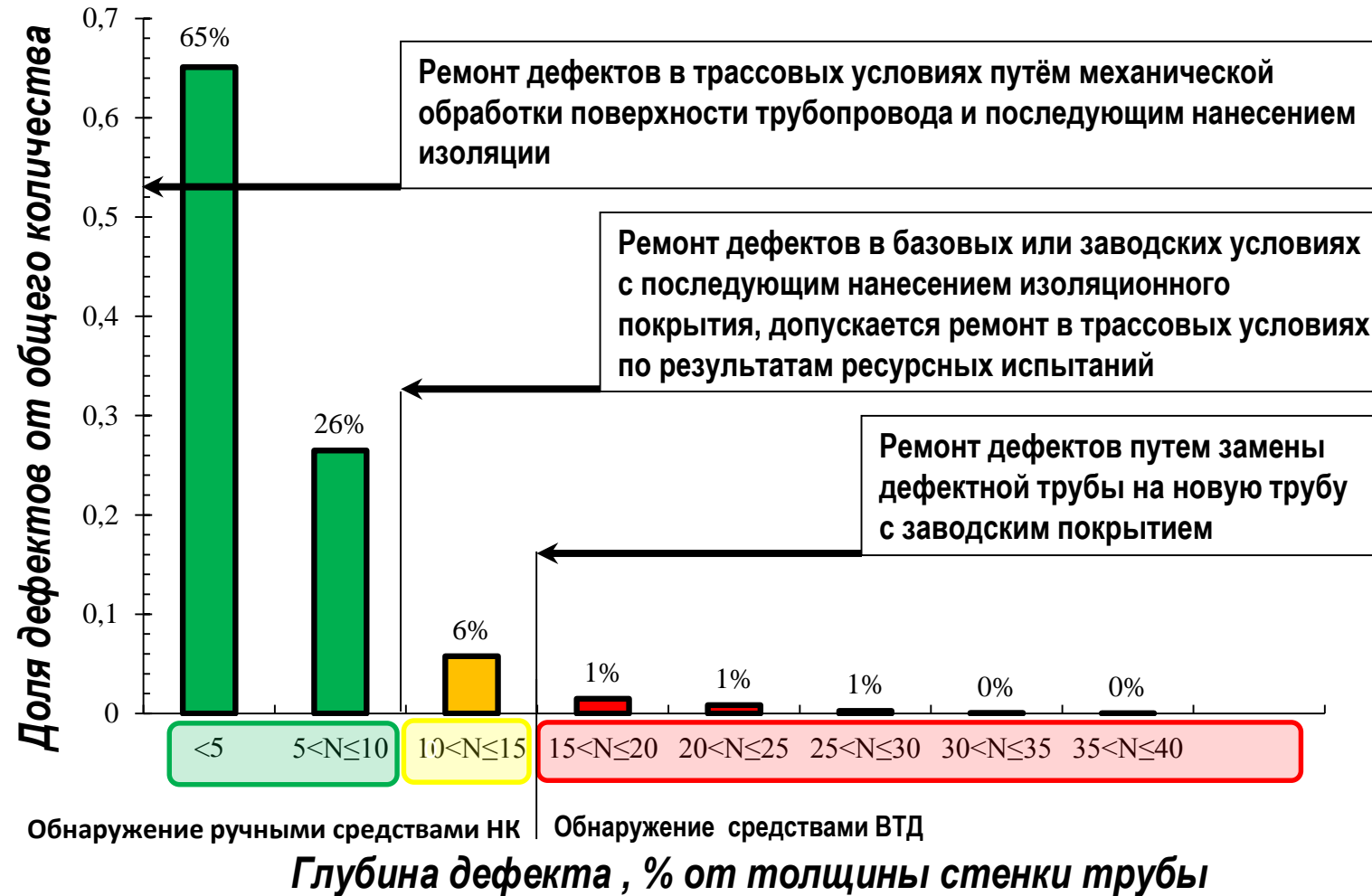


 Metallography  
 Fractography



- Research of corrosion products in cracks ( $O_2$  on the average  $\approx 30\%$  mass.)
- Carbon content in some match points (to 40-50% mass.)
- No evidence of structure local deformation near apex of crack





*Карта Европы (ЕС), на ней крупно: 2050 - H<sub>2</sub> и перечеркнутый символ «С» (нужно бы найти название и реквизиты директивы ЕС по переходу на безуглеродную (водородную) экономику. Там должны быть стадии по отраслям, процентам замещения метана водородом. Это нужно схематически изобразить на слайде.*

*В нижней части показать схему проникновения водорода через стенку трубы к трещине КРН с отсылкой в красном кружке –ОЦК решетка Fe и атом водорода в тетраэдрической поре, чтобы был виден масштаб его малости по сравнению с размером поры и параметром решетки.*

*Несколько фотографий проявлений водородной деградации металла – растрескивание, пузыри.*



# Thank you for your attention

PhD, Ilya Ryakhovskikh  
[I\\_Ryakhovskikh@vniigaz.gazprom.ru](mailto:I_Ryakhovskikh@vniigaz.gazprom.ru)

PhD, Andrey Arabey  
[A\\_Arabey@vniigaz.gazprom.ru](mailto:A_Arabey@vniigaz.gazprom.ru)