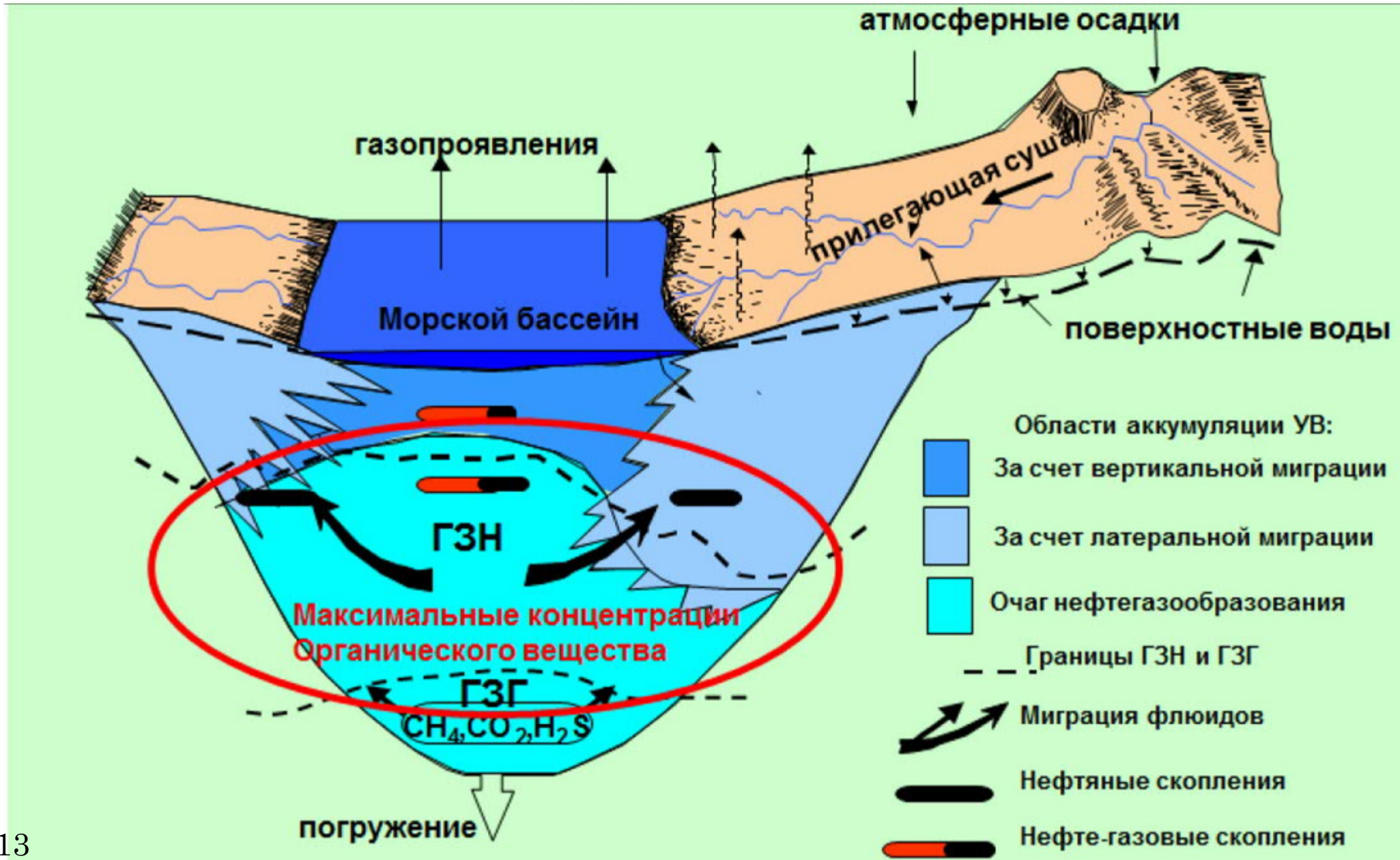


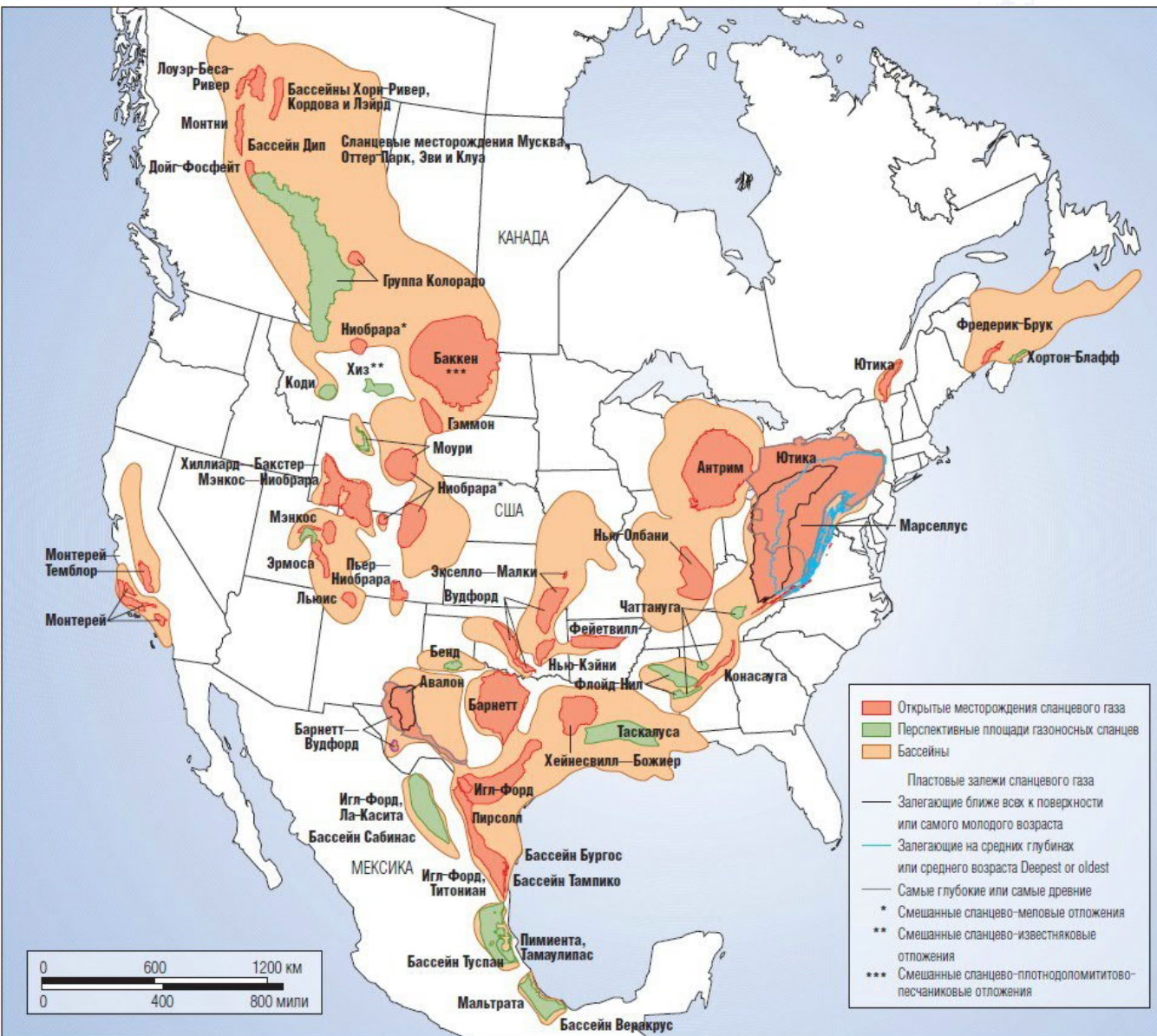
## **Возможности и перспективы использования микротвердомера МНТЗ в нефтегазовой геологии**

Международная научно-практическая конференция  
«Инновационные решения в геологии и разработке ТРИЗ»  
Москва 16–17 ноября 2021 г.

Докладчик: МИТРОНОВ Дмитрий Валентинович

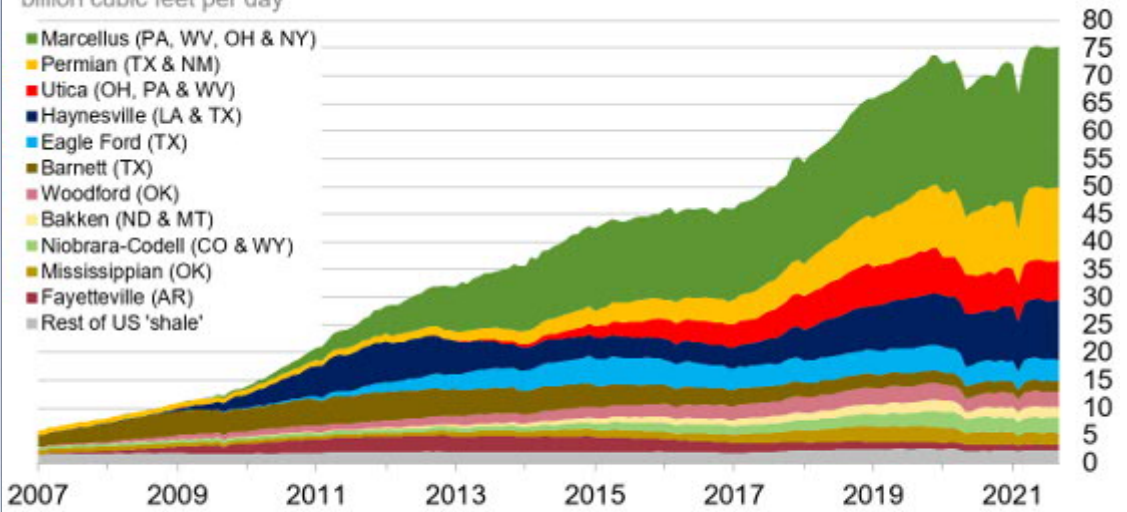
# Формирование углеводородов в породах высокоугленосных формаций





### Monthly dry shale gas production

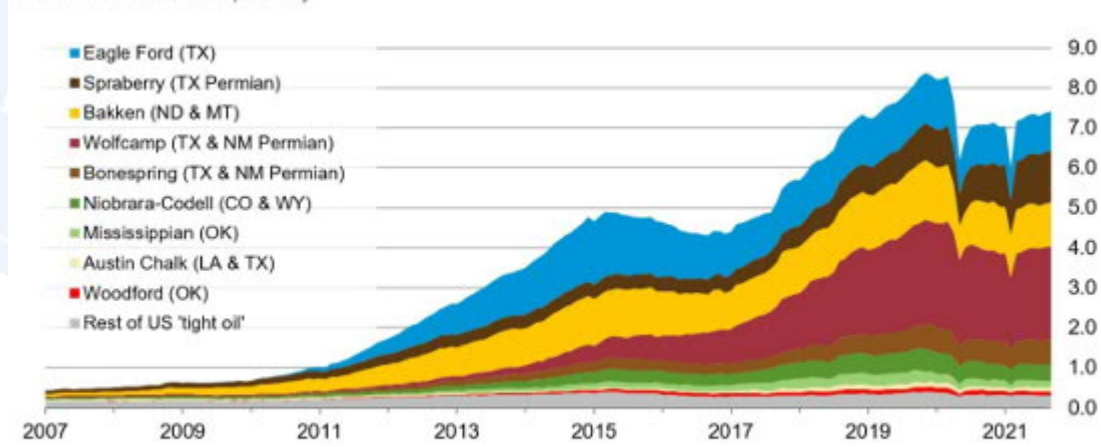
billion cubic feet per day



Source: Graph by the U.S. Energy Information Administration (EIA) based on state administrative data collected by Enverus. Data are through September 2021 and represent EIA's official tight gas estimates, but are not survey data. State abbreviations indicate primary state(s).  
 Note: Improvements to play identification methods have altered production volumes of between various plays.

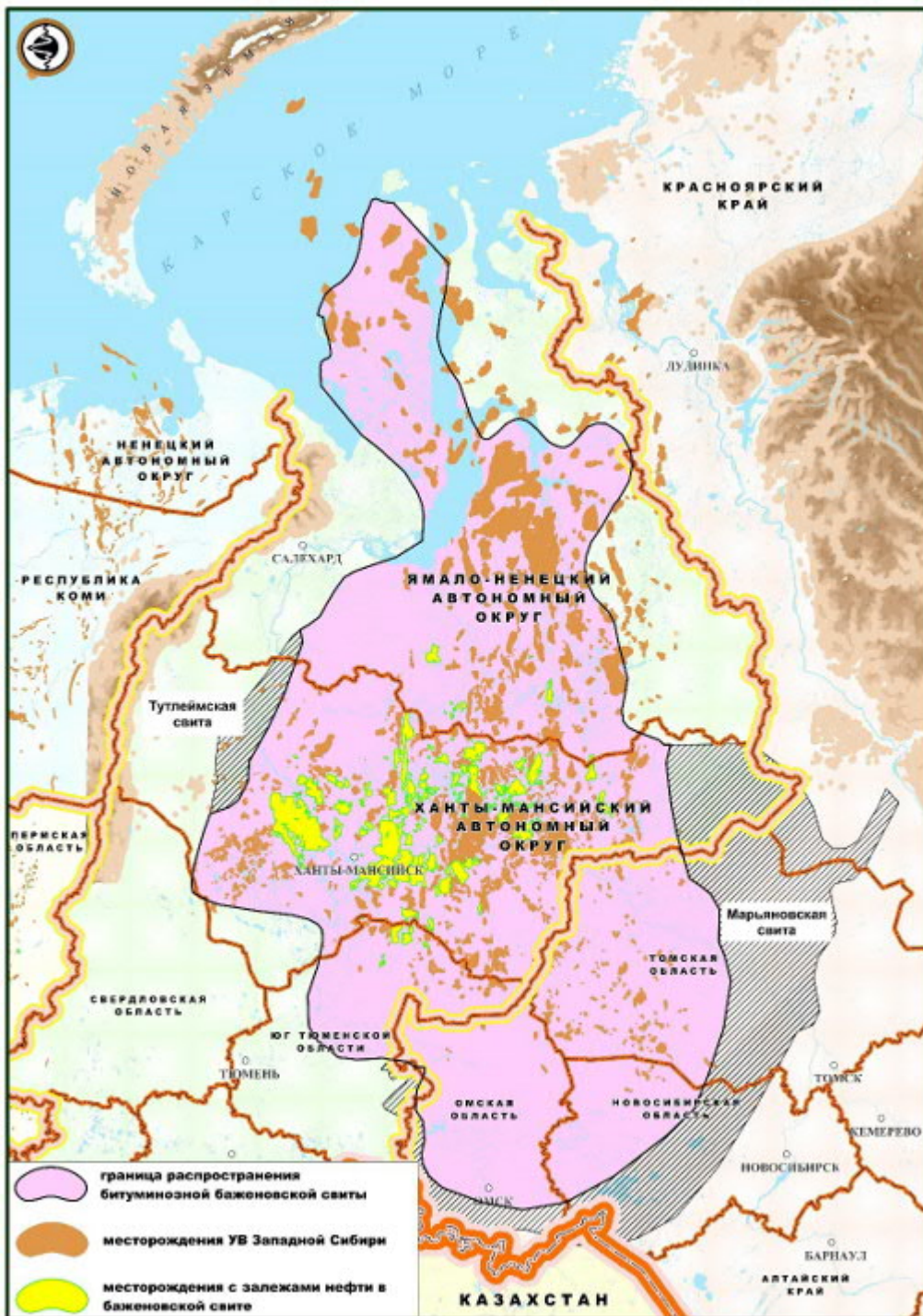
### U.S. tight oil production – selected plays

million barrels of oil per day



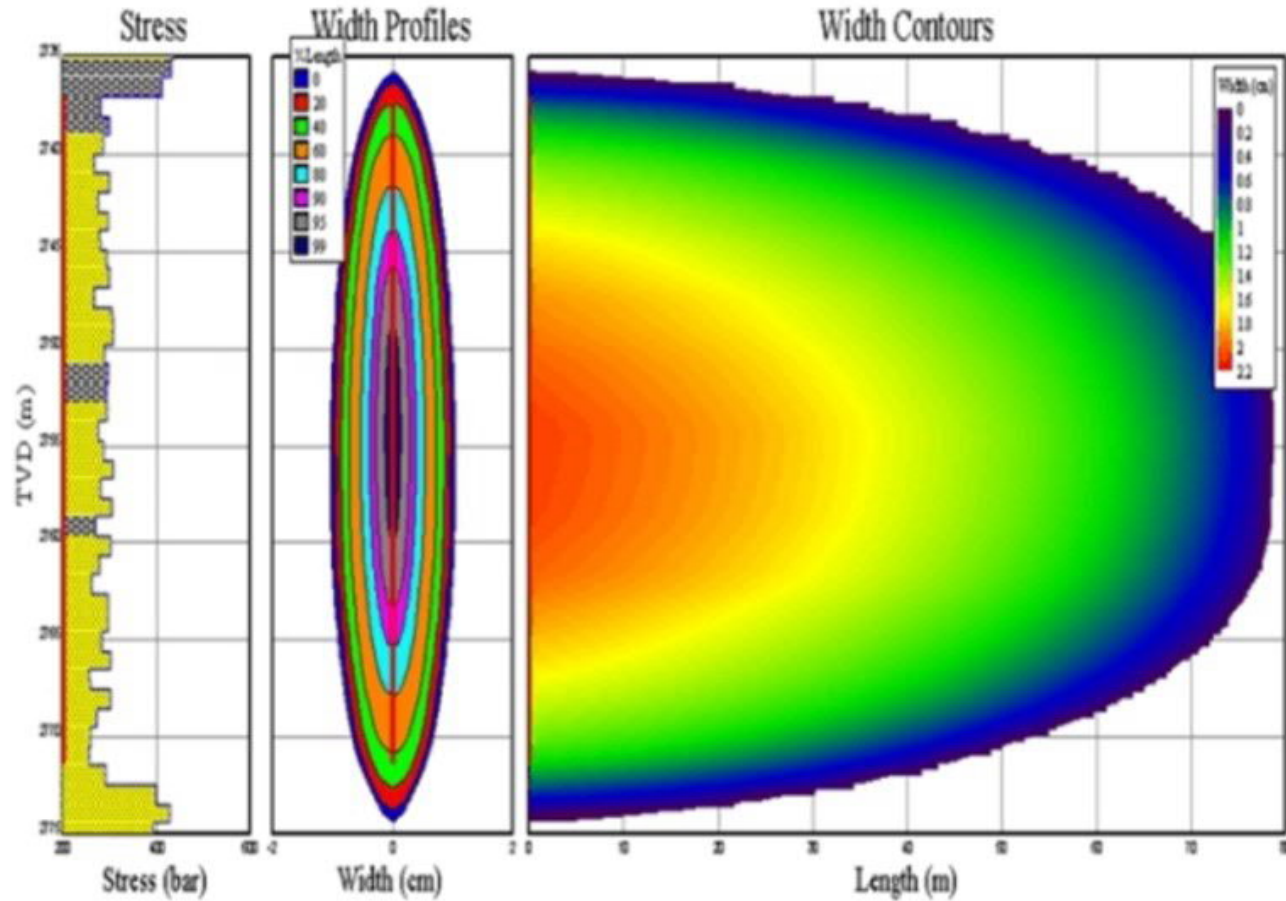
Sources: EIA derived from state administrative data collected by Enverus. Data are through September 2021 and represent EIA's official tight oil estimates, but are not survey data. State abbreviations indicate primary state(s).  
 Note: Improvements to play identification methods have altered production volumes between various plays.

# Схема распространения баженовской свиты в Западно-Сибирском осадочном бассейне

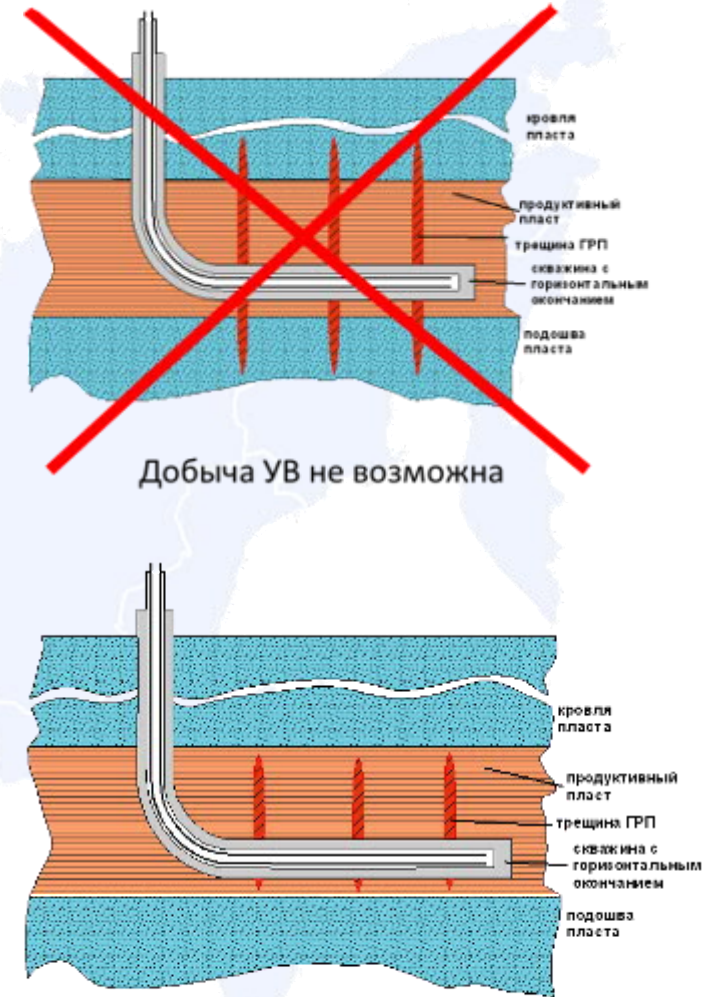


# Дизайн гидроразрыва пласта

Выбор оптимальных параметров полудлины и высоты трещины ГРП



Геометрия трещины

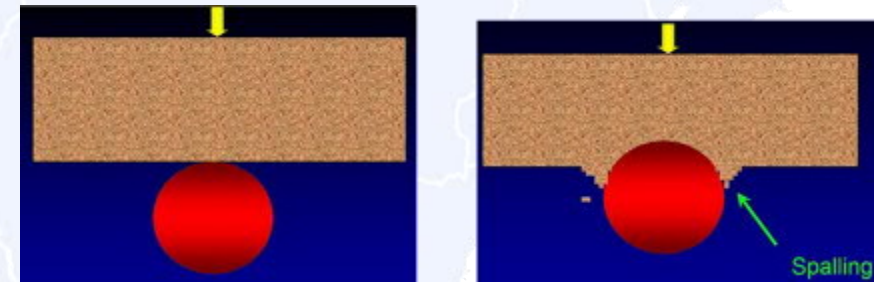


# Выбор проппанта для ГРП

После завершения операции ГРП, осажденный в трещине проппант должен удерживать ее в открытом состоянии и обеспечивать высокую проводимость канала.

Исследования показали, что при вдавливании проппанта в стенки, уменьшение апертуры трещин может составить от 10 до 60%. Это приводит к потере в продуктивности скважин, так как уменьшение апертуры трещины на 20 % сокращает поток флюида и нефтеотдачу на 50 %.

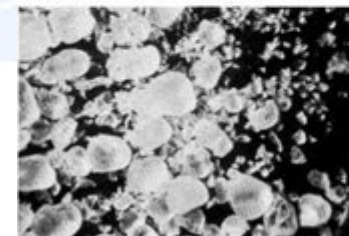
Если поверхностная твердость породы значительно превышает твердость проппанта, происходит его разрушение в трещине и раздробленные частицы закупоривают проводящие каналы. В результате проводимость трещины гидроразрыва стремится к нулю.



(a) Высококачественный песок



(a) Плавленый боксит

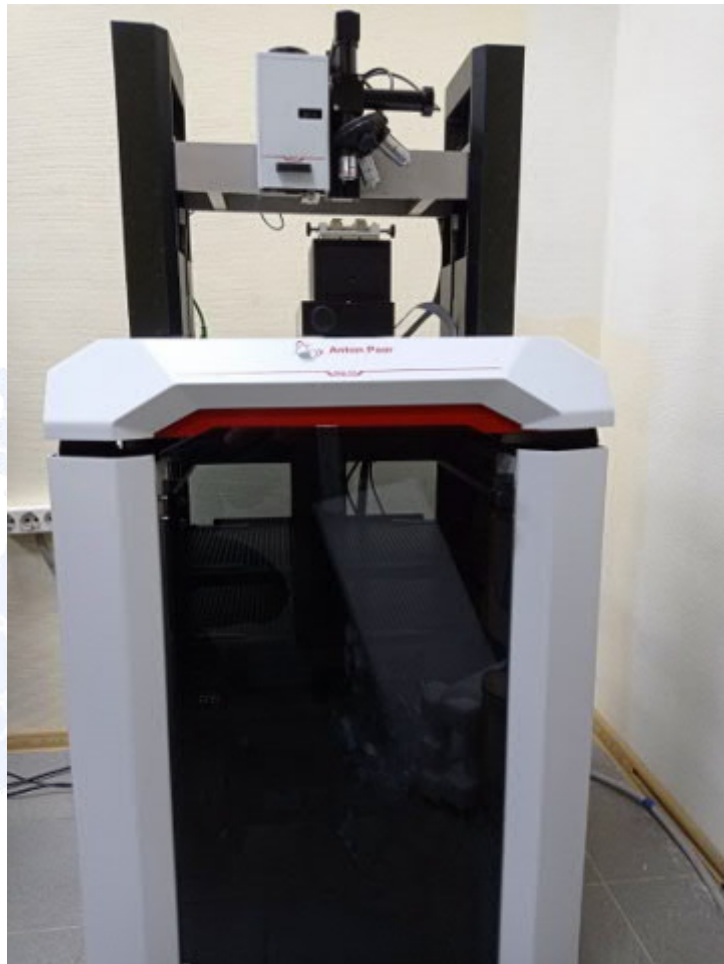


(b) Высококачественный песок  
после нагрузки 10000 psi



(b) Плавленый боксит  
после нагрузки 10000 psi

# Микротвердомер МНТЗ



Микротвердомер приобретен в рамках федерального проекта «Развитие передовой инфраструктуры для проведения исследований и разработок в Российской Федерации» национального проекта «Наука»

## Параметры модуля Микро-индентирования

### > Вертикальная нагрузка

	Точный диапазон	Расширенный диапазон
Максимальная нагрузка $F_{max}$ [Н]	10	30
Разрешение нагрузки [мкН]	6	20
«Шум» пола [мкН]	250*	
Диапазон вертикальной нагрузки (рабочий диапазон) [Н]	0.01 to 10	
Минимальная вертикальная нагрузка $F_{max}$ [мН]	10	
Минимальная сила контакта [мН]	Менее 10	
Скорость нагрузки [мН/мин]	300	
Время удержания нагрузки	Не ограничено	

### > Глубина проникновения

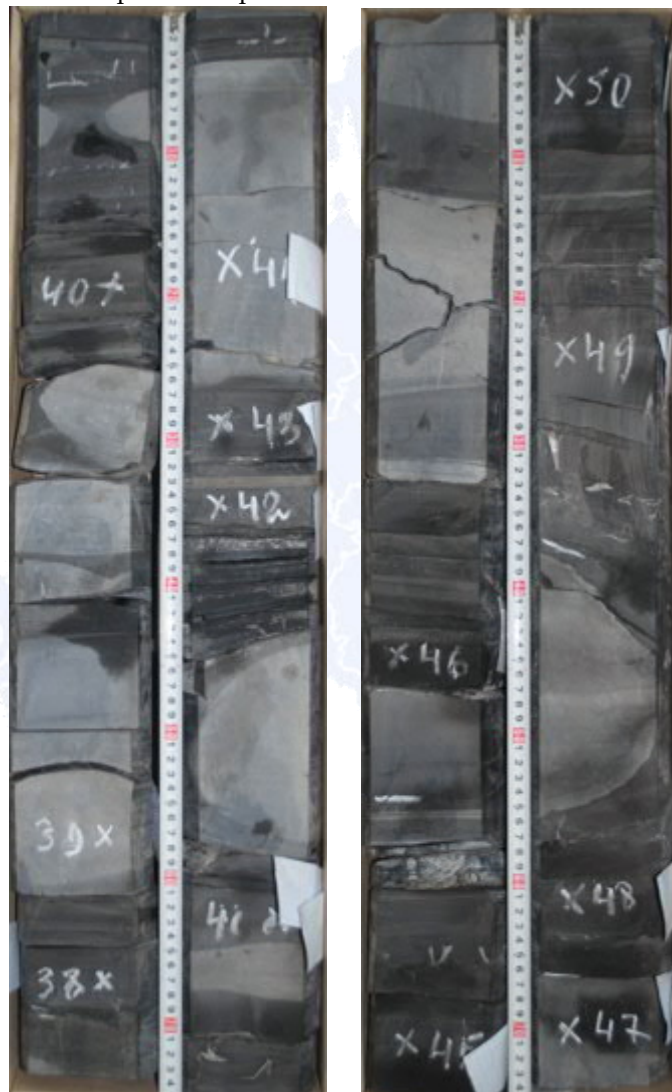
	Точный диапазон	Расширенный диапазон
Максимальная глубина индентирования [мкм]	100	1000
Разрешение по глубине [нм]	0.03	0.01
Максимальный ход индентора [мкм]	1000	
Шум пола [нм]	1.5*	

## Особенности прибора МНТ

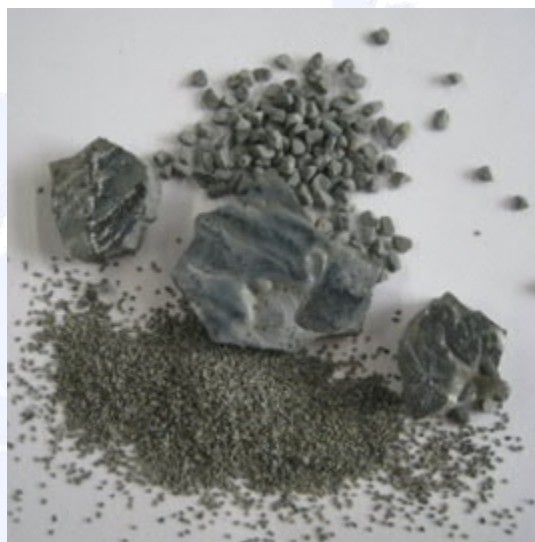
позволяет измерять:

- **Твердость,  $H_{IT}$**
- **Модуль упругости,  $E_{IT}$**
- Твердость материала (Универсальную твердость)
- Энергии Упругой и Пластической деформации,  $W_{pl}$  и  $W_{el}$
- Проценты ползучести и релаксации материала

Керн из скважины Пешковская №42.  
Интервал отбора 3609.7-3627 м.



Аналитическая проба 0-1 мм  
Буровой шлам от 1 мм



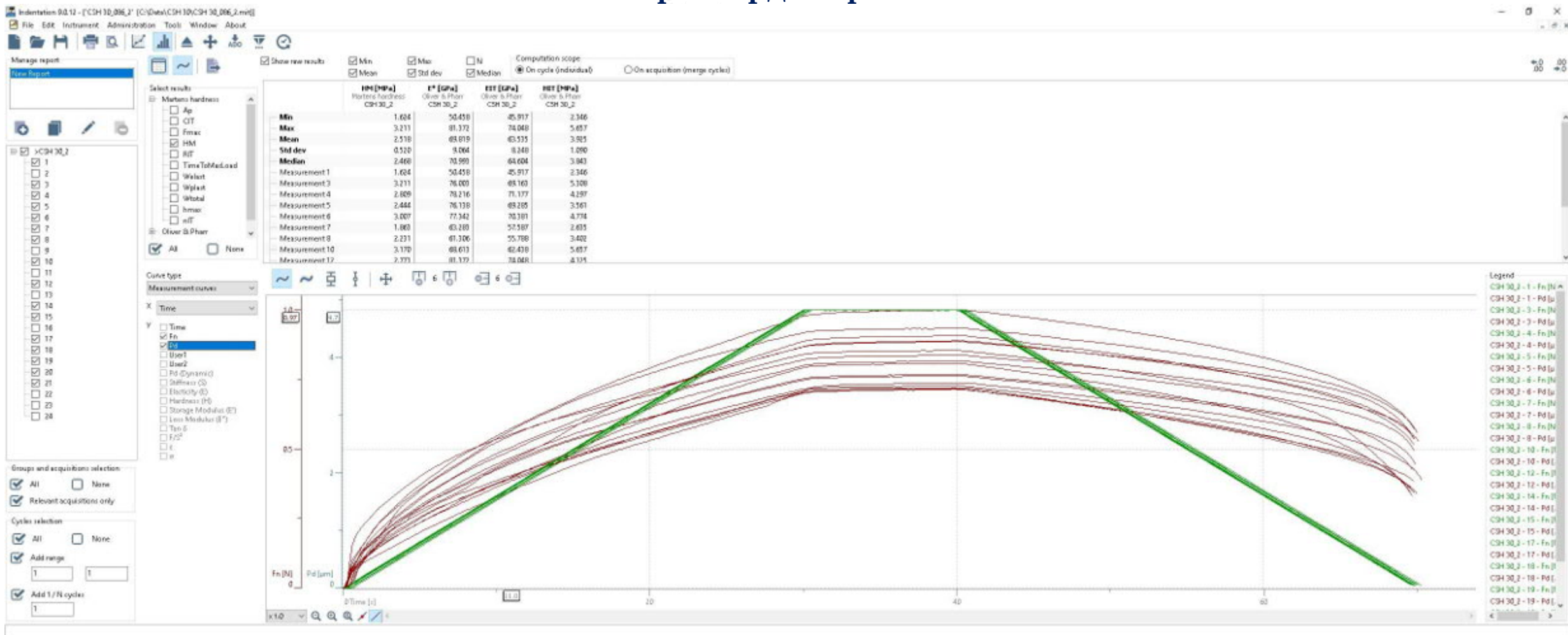
Образцы для индентирования



[МГУ, 2012, 2015]

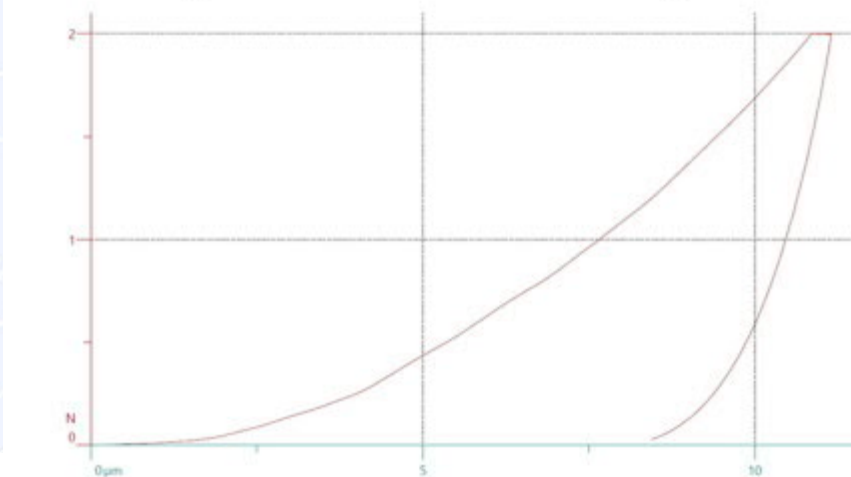
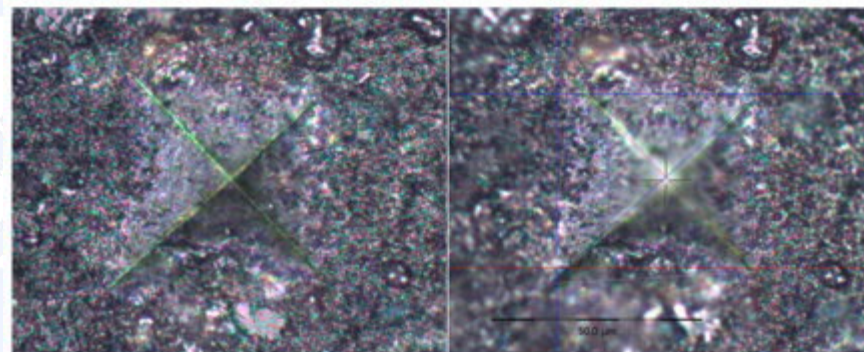
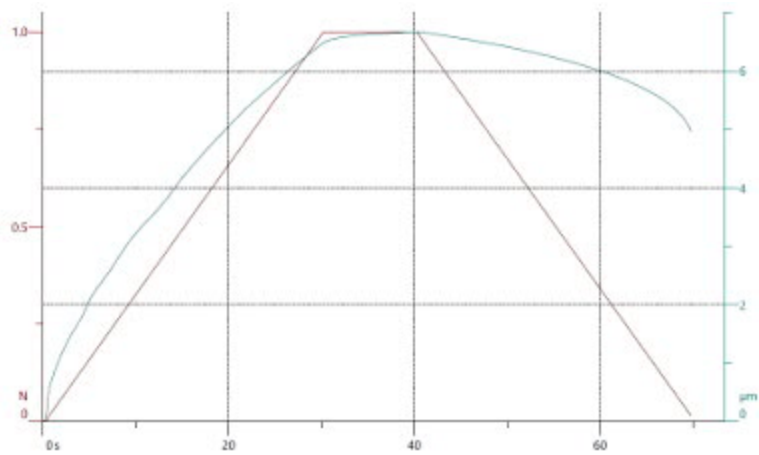


# Микротвердомер МНТЗ



# Микротвердомер МНТЗ

Отпечаток индентора Виккерса на поверхности породы (А и Б) и кривая нагрузки/разгрузки в точке индентирования (В)



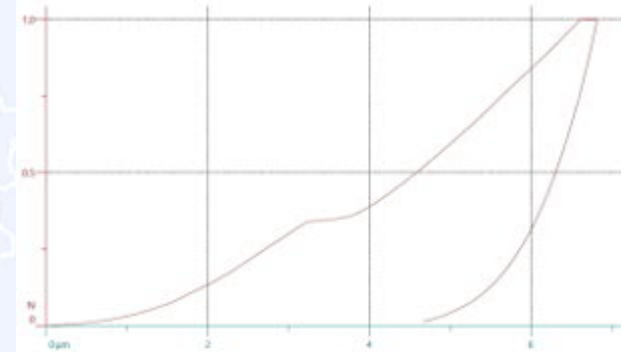
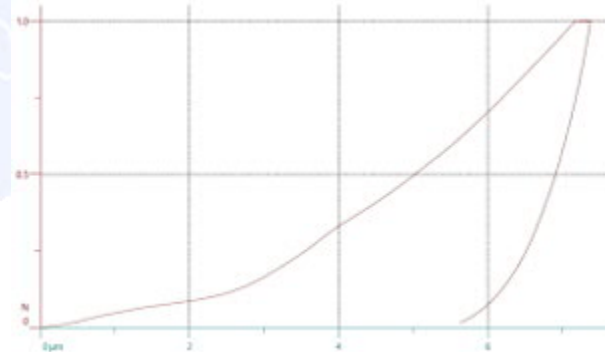
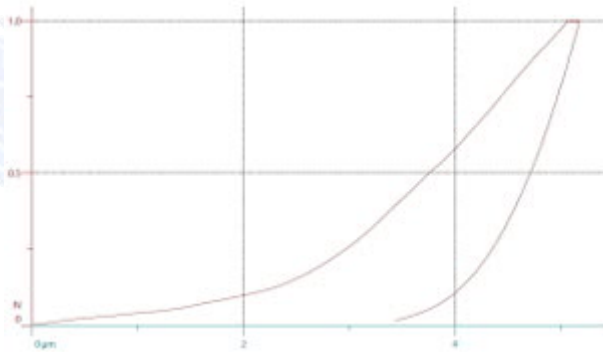
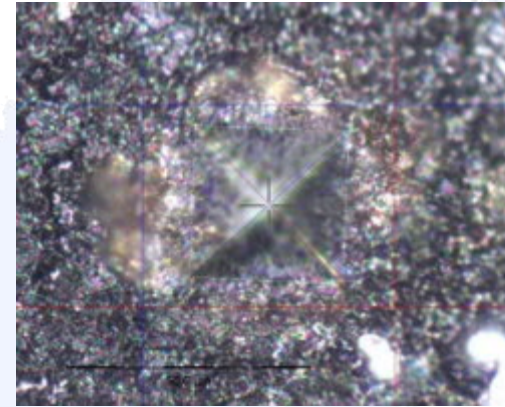
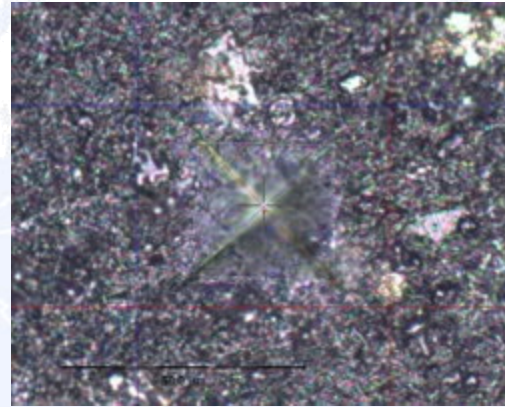
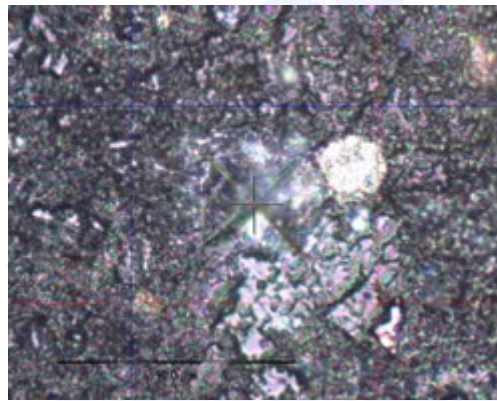
В отличие от классических микротвердомеров, требующих визуального измерения размеров отпечатка индентора, измерительный модуль МНТЗ реализует методику инструментального индентирования. Модуль МНТ CSM Instruments оборудован двумя независимыми датчиками: нагрузки и глубины для обеспечения независимой и точной регистрации сигналов силы и глубины проникновения. Глубина проникновения непрерывно контролируется как функция прилагаемой силы.

Основные преимущества:

1. Тестирования твердости - простой метод для характеристики механических свойств.
2. Определения физико-механических свойств горных пород можно проводить как на образцах полноразмерного керна, так и на буровом шлеме (измерения проводят по аншлифам (штуфы, брикеты)).
3. Минимальное время проведения испытаний.

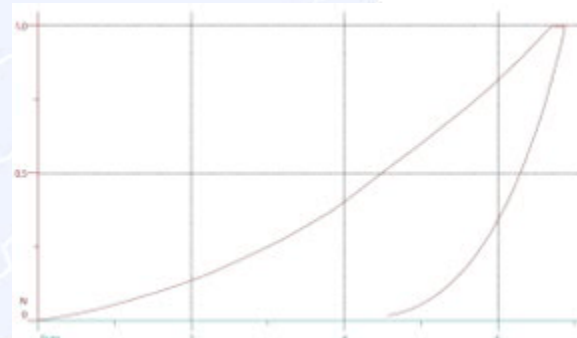
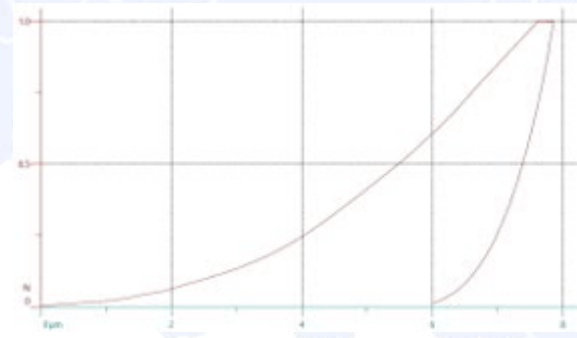
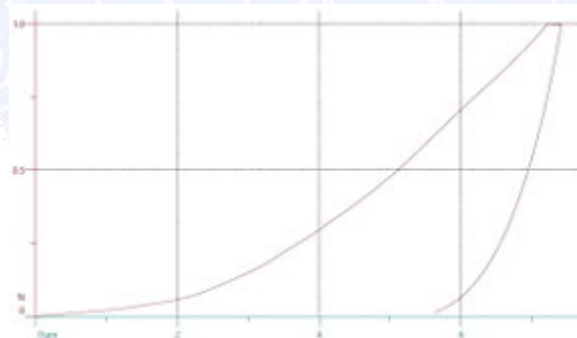
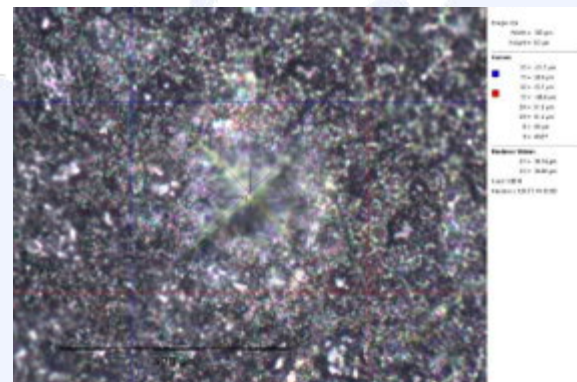
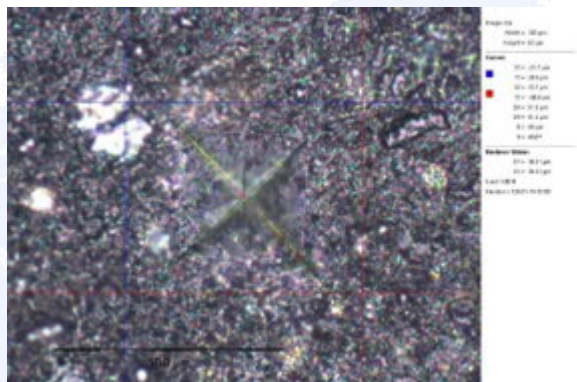
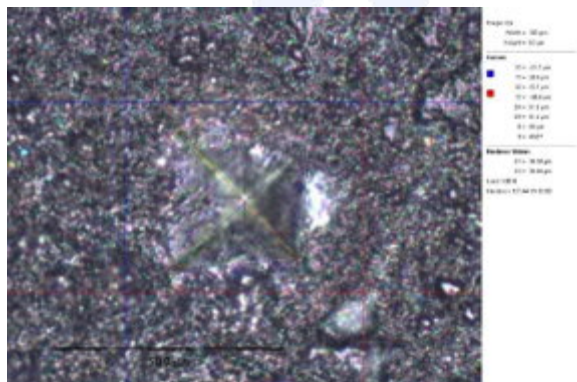
# Микротвердомер МНТЗ

## Невалидные точки индентирования



# Микротвердомер МНТЗ

## Валидные точки индентирования



**Результаты определения микротвердости и  
модуля упругости пород баженовской свиты  
на микротвердомере МНТЗ**

		<b>E* [GPa] Oliver &amp; Pharr</b>	<b>EIT [GPa] Oliver &amp; Pharr</b>	<b>HM [GPa] Martens hardness</b>	<b>HVIT [Vickers] Oliver &amp; Pharr</b>
<b>Образец 1, Нагрузка 2 Н</b>	Min	31.837	28.971	0.594	69.747
	Max	38.339	34.888	0.784	94.913
	Mean	<b>34.902</b>	<b>31.761</b>	<b>0.694</b>	<b>83.555</b>
	Std dev	1.784	1.624	0.074	9.771
<b>Образец 2, Нагрузка 1 Н</b>	Min	28.815	26.221	0.606	72.036
	Max	42.561	38.730	0.945	116.812
	Mean	<b>36.280</b>	<b>33.014</b>	<b>0.748</b>	<b>90.761</b>
	Std dev	3.980	3.622	0.104	13.626
<b>Образец 2, Нагрузка 2 Н</b>	Min	36.405	33.129	0.681	81.043
	Max	47.380	43.116	1.023	125.054
	Mean	<b>40.462</b>	<b>36.820</b>	<b>0.801</b>	<b>96.342</b>
	Std dev	2.957	2.691	0.100	13.008



**Спасибо за внимание**