



*Институт геофизики
имени Ю.П. Булашевича,
УрО РАН, Екатеринбург*

«XXVI УРАЛЬСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА ПО ГЕОФИЗИКЕ»

ГЕОТЕРМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН: ПЕРСПЕКТИВА ПРЕЦИЗИОННЫХ МЕТОДОВ

Хацкевич Б.Д., Горностаева А.А., Факаева Н.Р.

Научный руководитель: д.г.-м.н. Демежко Дмитрий Юрьевич
Институт геофизики имени Ю.П. Булашевича, УрО РАН, Екатеринбург

19 марта 2025 г. Екатеринбург

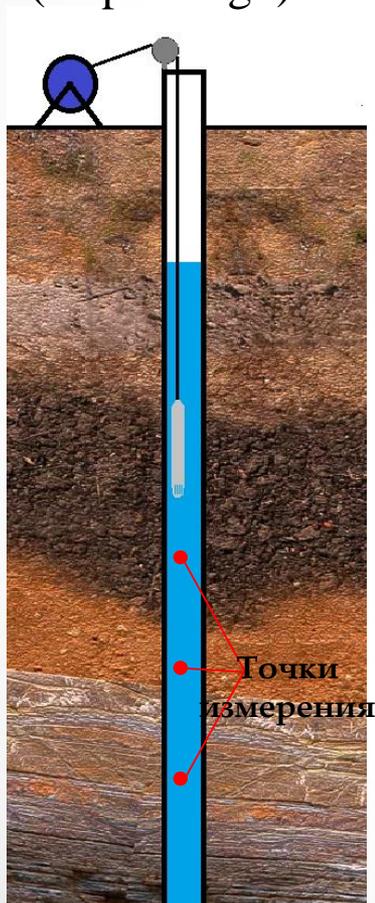
Области применения скважинной термометрии

- Температурные измерения в скважинах – один из наиболее простых, но в то же время эффективных методов геофизических исследований скважин, широко применяется в нефтяной и промысловой геофизике, гидрогеологии, инженерной геологии, геоэкологии, геокриологии, палеоклиматологии и геодинамики.

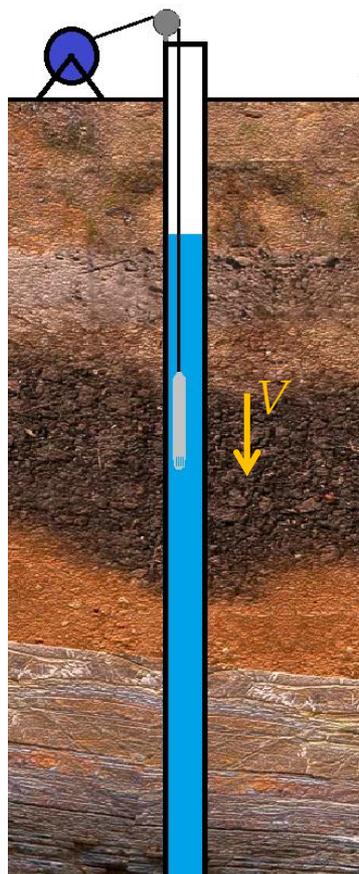
Традиционные измерения температуры в скважине

Температурный каротаж

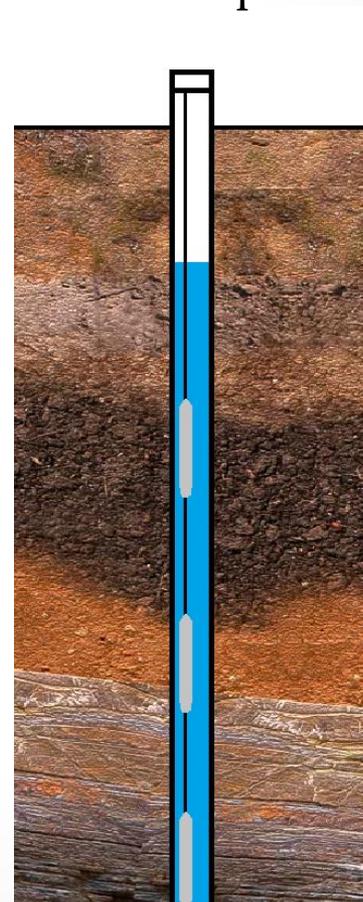
Поточечные измерения
(stop-and-go)



Непрерывные



Температурный мониторинг



Методика измерений

Термометр с температурой T_1 , помещенный в среду, с температурой T_2 . При постоянной температуре среды будет показывать температуру $T(t)$, изменяющуюся по закону

$$T(t) = T_2 + (T_1 - T_2) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

где t – время, отсчитываемое от начала опыта; τ – постоянная времени, в течение которого разность температур между термометром и средой уменьшается в e раз.

Таким образом время выдержки t датчиков температуры:

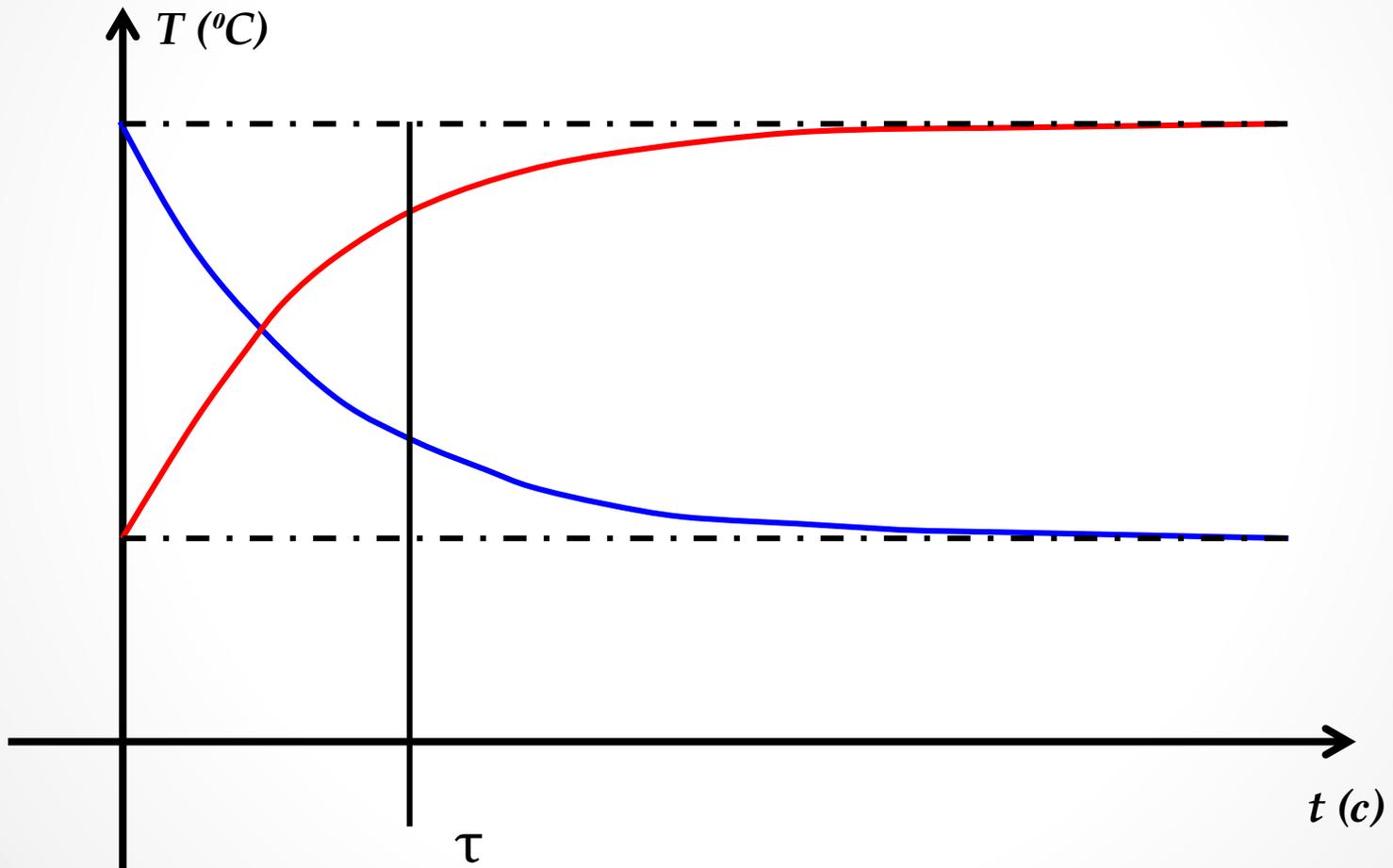
$$t = \tau \ln\left[\frac{T_0 - T_1}{\Delta T}\right]$$

Где T_1 - ожидаемая температура грунта в скважине (принимается ориентировочно с погрешностью до $\pm 2^\circ\text{C}$), $^\circ\text{C}$;

Максимальная скорость $V_{\text{макс}}$ зависит от постоянной времени датчика τ , геотермического градиента G и допустимой погрешности регистрации температуры ΔT :

$$V_{\text{макс}} = \frac{\Delta T}{G\tau}$$

Методика измерений



Современные датчики измерения температуры в скважине



RBR soloT

Точность: ± 0.002 °C

Разрешение: $< 0,00005$ °C



Leveline

Точность: ± 0.1 °C

Разрешение: 0.01 °C



«Кварц»

Точность: ± 0.0005 °C

Разрешение: $< 0,00005$ °C

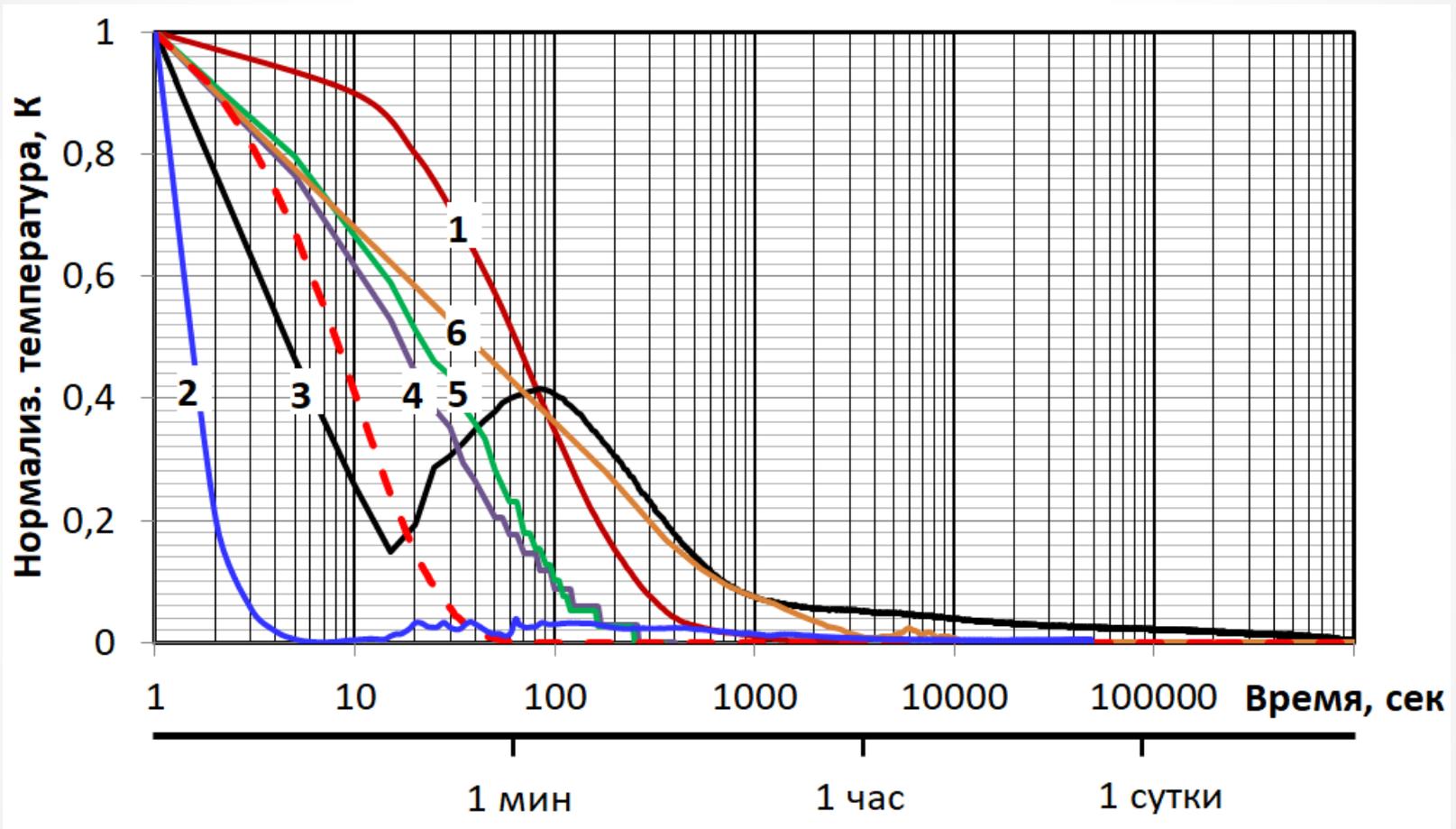


САМТ-02-1

Точность: ± 0.2 °C

Разрешение: $0,001$ °C

Температурный отклик

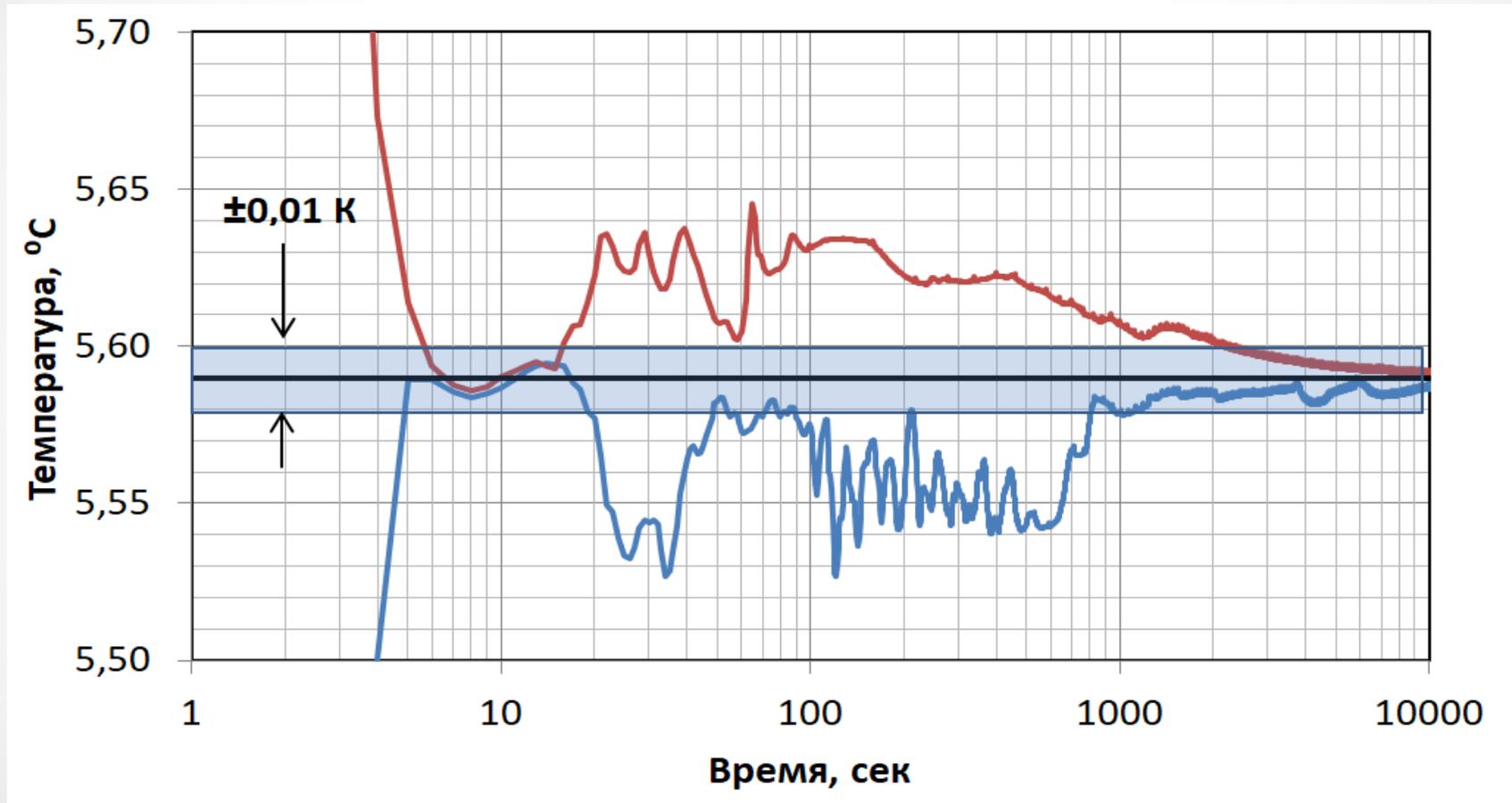


Нормализованные релаксационные кривые скважинных термометров. Красный пунктир – кривая, рассчитанная в соответствии с (1) при $\tau = 10$ сек.

Постоянные времени скважинных термометров

№	термометр	Постоянная времени τ , сек, в интервале измерений, сек (в скобках)	Время, сек, достижения точности	
			0,1 (T_1-T_2)	0,01($T_1- T_2$)
1	Leveline	85(1-10), 107(10-200), 780(200-10 ⁶)	250	1000
2	RBRsolo ³	0,73(1-2), 1,86(2-8)	2,6	4,5; 2000
3	САМТ-02-1	7,5(1-15), 5,07 10 ⁵ (10 ³ -10 ⁶)	700	6 10 ⁵
4	УТСК-ЕЭ-50	22,3(1-15), 84,7(15-260)	100	
5	ЭКУ-Т-50	27,0(1-15), 67,2(15-250)	100	
6	Кварц	140(1-180), 1147(180-3600), 5612(3600-11200)	700	1 10 ⁴

Температурный отклик RBRsolo3

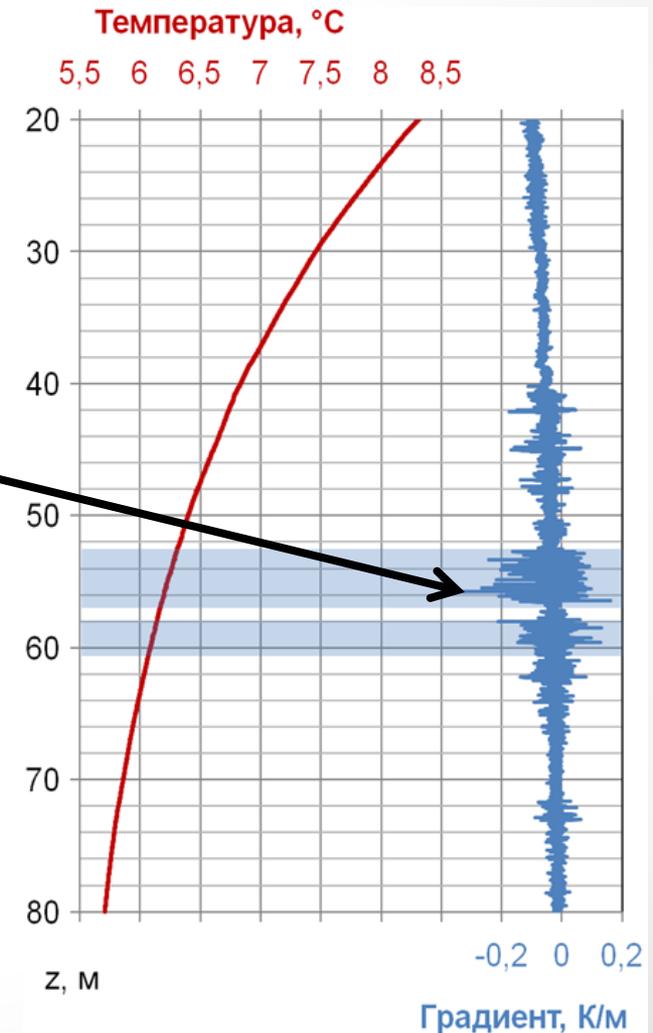
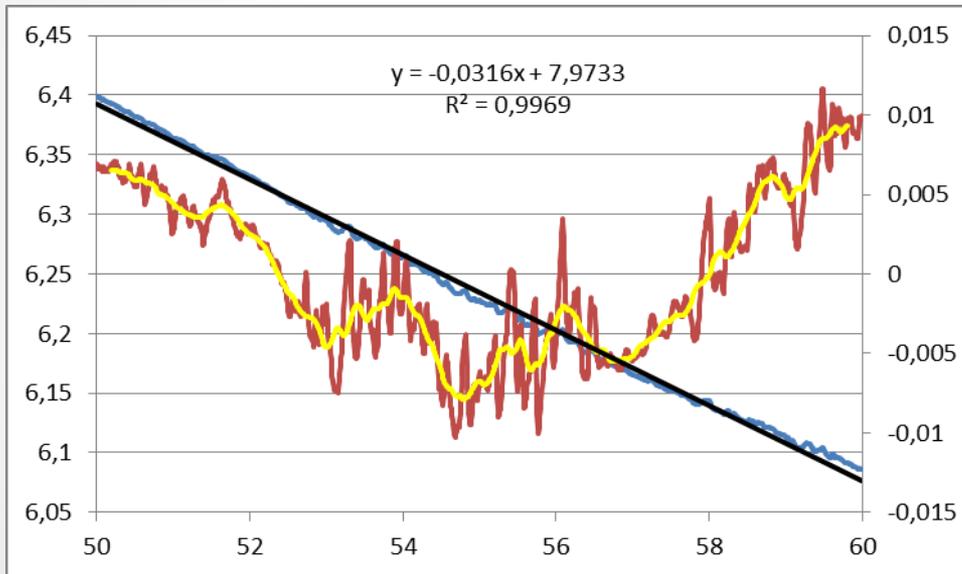


Релаксационные кривые RBR-soloT (б; красная кривая – $T_1 > T_2$, синяя – $T_1 < T_2$)

Высокоточный температурный каротаж на спуске



Высокоточный температурный каротаж на спуске



Выводы

- Существующие методики термокаротажа не позволяют эффективно реализовать потенциал высокоточных автономных скважинных термометров.
- Исследования, проведенные с использованием автономного термометра RBRsoloT, показали, что температурная релаксация носит более сложный, чем принято считать, характер. Наличие «окна», в котором измеряемая температура наиболее близка к невозмущенной, может обеспечить высокую производительность и точность термокаротажа как в непрерывном, так и в дискретном вариантах.
- Применение прецизионных термометров по описанной методике позволит существенно расширить круг задач, решаемых скважинной термометрией, например выделять заколонные перетоки, вызывающие аномалии малой интенсивности.
- Повышение точности измерений температуры дает возможность оценивать градиент на коротких интервалах, что может позволить на новом уровне возродить геотермический метод литологического расчленения разреза скважины.

Спасибо за внимание