

КАКИЕ ФАКТОРЫ ОПРЕДЕЛЯЮТ ТЕМПЕРАТУРНУЮ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ДЫХАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В СМЕШАННОМ ЛЕСУ ЮЖНОГО ПОДМОСКОВЬЯ?

**Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О.,
Хорошаев Д.А., Жмурин В.А.**

*Институт физико-химических и биологических проблем
почвоведения РАН ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино*

Известно, что:

- Температурная чувствительность почвенного дыхания (SR) обычно оценивается величиной температурного коэффициента Q_{10} (*Van't Hoff, 1898*), который показывает во сколько раз изменяется скорость SR при увеличении температуры на 10°C (*Kirschbaum, 1995*).
- Температурная чувствительность величины SR является ключевым параметром, включенным в большинство моделей динамики органического вещества почв (*Reichstein et al., 2003*).
- Значения Q_{10} характеризуются высокой временной (*Курганова, 2010*) и пространственной вариабельностью (*Mayer et al., 2018*).
- Небольшие неточности в определении величины Q_{10} могут привести к существенным ошибкам при оценке динамики экосистемных потоков углерода как на региональном, так и на глобальном уровнях (*Zhou et al., 2009; Bond-Lamberty, Thomson, 2010*).

Основная цель исследований:

Определить какие факторы в наибольшей степени влияют на межгодовую и сезонную вариабельность температурной чувствительности дыхания почв в смешанном лесу южного Подмосковья.

Объект исследования:

Лес смешанный

Возраст > 120 лет)

4С3Лп2Ос1Б, Дуб – ед.

Почва:

Дерново-подзолистая
супесчанная

слой 0-10 см:

Песок : Ил : Глина = 11.6 : 1.0 : 1.3

Сорг = 1.22%; C/N = 15.3;

$pH_{KCl} = 3.67$ ед.



Определение дыхания почв



- **Закрытый камерный метод, измерения 3–5 раз в месяц;**
- **Период: 1998–2021 гг. (24 года непрерывных круглогодичных наблюдений)**
- **Параллельное определение температуры почвы и влажности в слое 0–5 см.**

Температурный коэффициент Q_{10} :

Оценка Q_{10} включала 2 этапа:

(1) построение регрессионной линейной зависимости между $\ln SR$ и температурой почвы T_s (*Amthor, 1994; Pavelka et al., 2007*):

$$\mathbf{Ln(SR) = a + bT_s} \quad (1)$$

(2) Q_{10} рассчитывали в соответствии с формулой:

$$\mathbf{Q_{10} = \exp(10 \cdot b)} \quad (2)$$

(3) Используя полученные значения Q_{10} оценивали

$$\mathbf{SR_{10} = Q_{10} \times \exp(a)} \quad (3)$$

Метеорологические индексы:

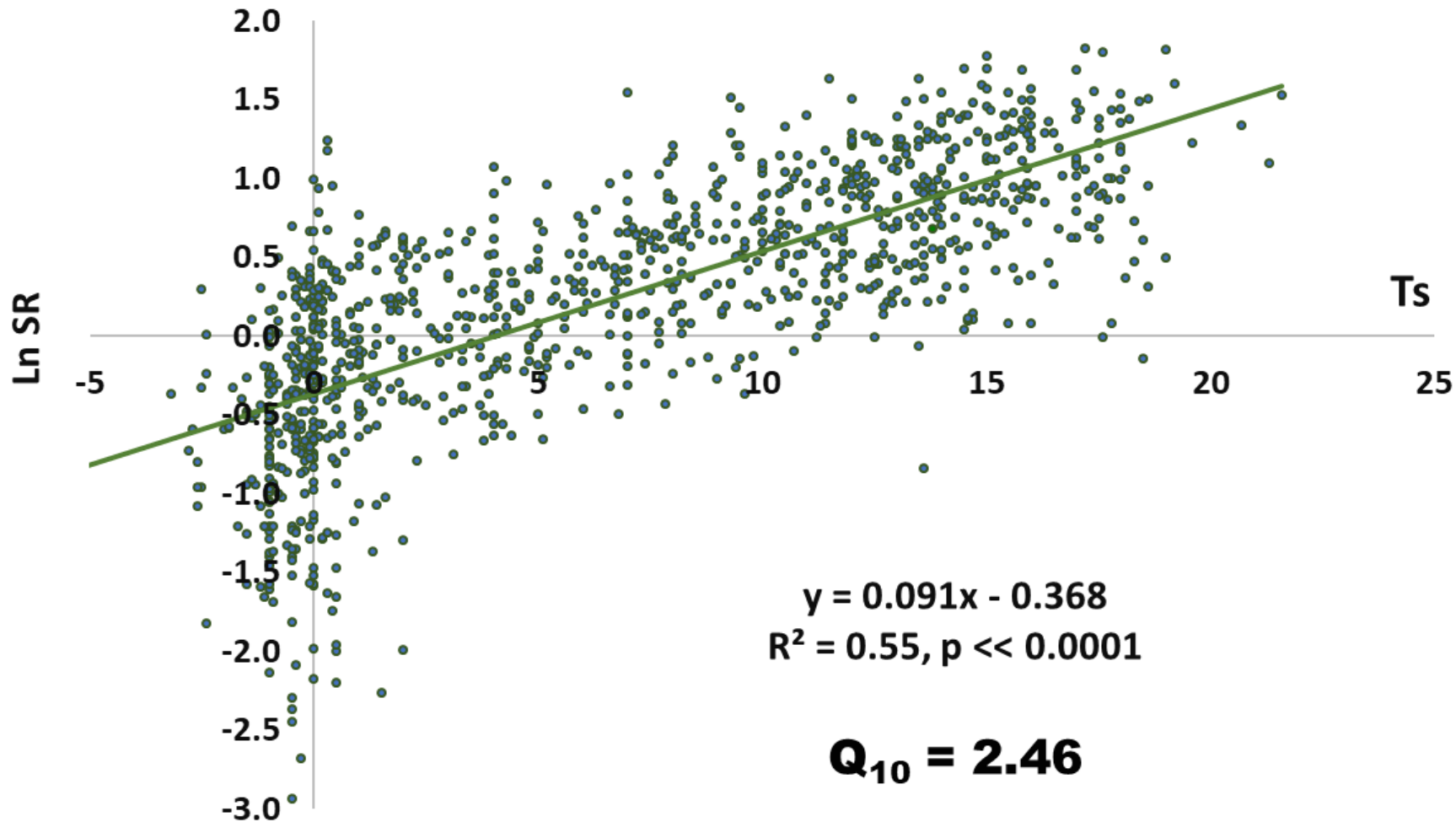
На основе рядов метеоданных (1998-2021 гг.), полученных на станции Фонового мониторинга (Приокско-террасный заповедник) были оценены:

- ☐ Среднегодовая $T_{\text{возд}}$. (**MAT**, °C) и годовое количество осадков (**SP**, мм);
- ☐ **ST₅₋₈** и **ST₅₋₉** суммы среднемесячных температур **T_{возд}** с мая по август и с мая по сентябрь;
- ☐ **SP₅₋₈** и **SP₅₋₉** суммы осадков с мая по август и с мая по сентябрь;
- ☐ Индексы увлажнения **WI₅₋₈** и **WI₅₋₉**, представляющие отношение $\lg SP_{5-8} / ST_{5-8}$ и $\lg SP_{5-9} / ST_{5-9}$;
- ☐ Гидротермический коэффициент Селянинова за летний период **HTC₆₋₈**.

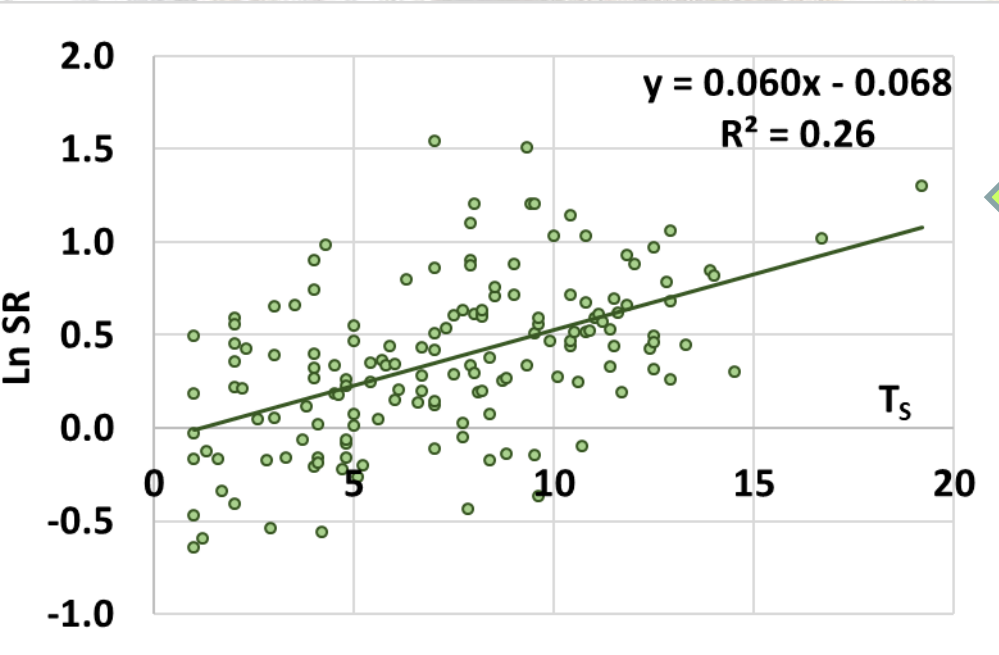
Величину Q_{10} оценивали:

- ❑ для всего 24-летнего ряда данных и каждого года в отдельности: (i) во всем интервале Ts (Q^*_{10}) и (ii) для $Ts > 1^\circ C$;
- ❑ для совокупности данных в разные по увлажненности годы (нормальные, сухие и влажные), которые выделяли по величине ГТК;
- ❑ для совокупности всех данных, объединенных по календарным сезонам года;
- ❑ для определенных интервалов (рангов) следующих метеорологических параметров: P , SP_{5-8} и SP_{5-9} , ST_{5-8} и ST_{5-9} , WI_{5-8} и WI_{5-9} и HTC_{6-8} .

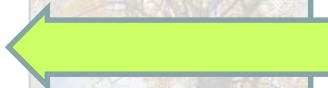
Зависимость LnSR от температуры почвы Ts: 24 года наблюдений



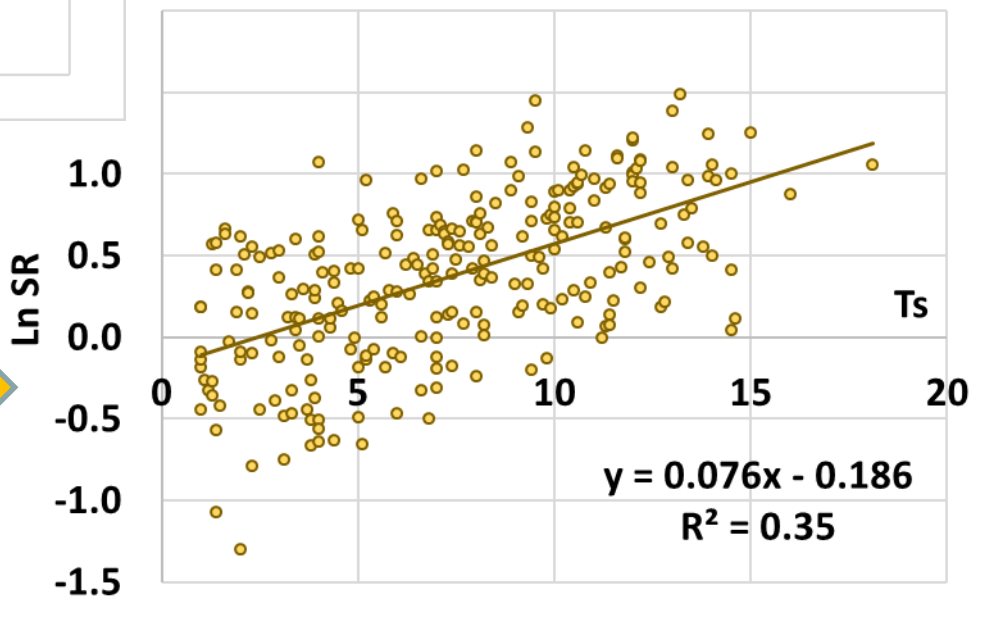
Зависимость LnSR от температуры почвы Ts в весенний и осенний периоды



Весенний период
 $Q_{10} = 2.47$



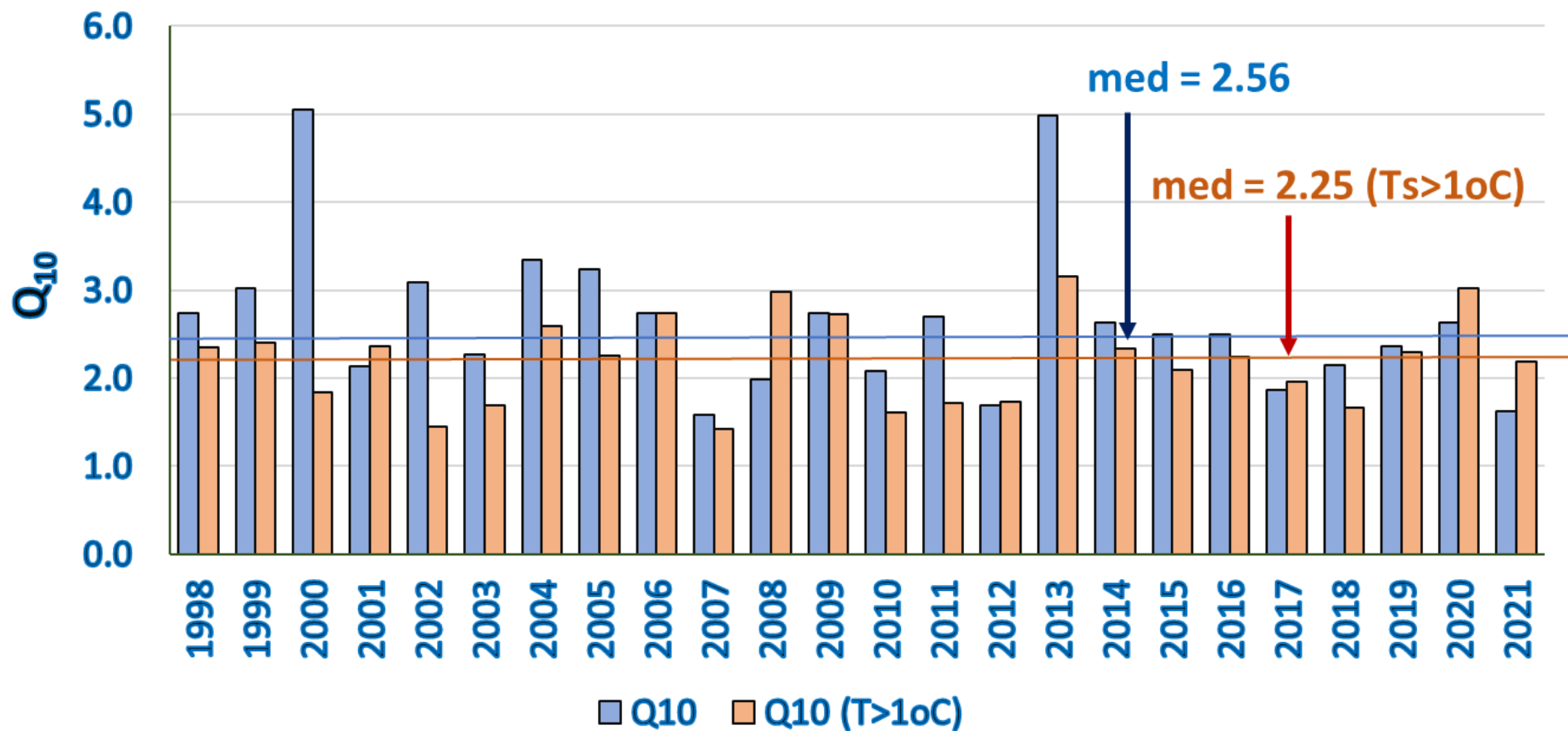
Осенний период
 $Q_{10} = 2.33$



Величины Q_{10} и SR_{10} в разные по увлажнению годы и разные календарные сезоны

Уровень увлажнения	Q_{10}	n	R^2	p	SR_{10}
Все данные	2.46	1070	0.55	<<0.0001	1.71
Нормальные	2.68	567	0.59	<<0.0001	1.81
Влажные	2.48	182	0.62	<<0.0001	1.83
Сухие	2.13	315	0.45	<<0.0001	1.48
Календарные сезоны					
Весна	2.47	272	0.34	<<0.0001	1.76
Осень	2.33	281	0.40	<<0.0001	1.79
Зима	3.23	241	0.072	<0.0001	-
Лето	1.55	276	0.064	<0.0001	-

Межгодовая вариабельность значений Q_{10}



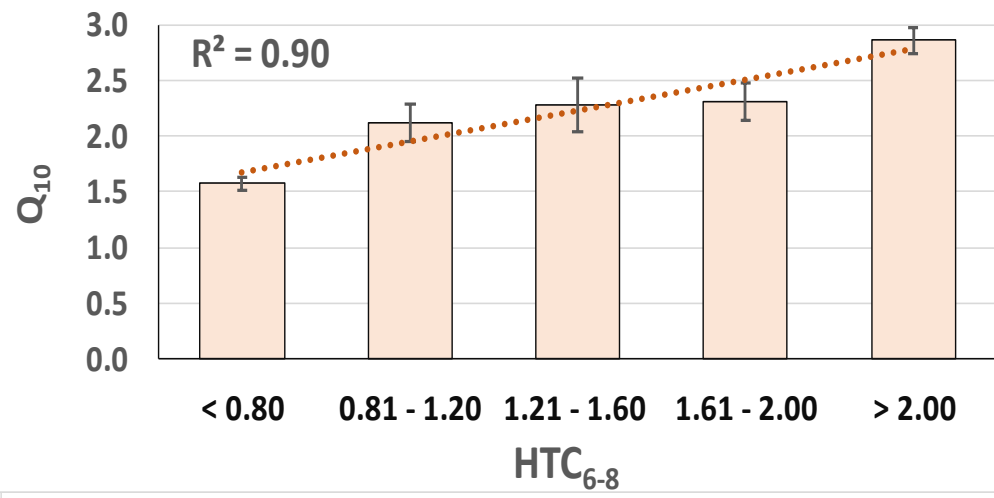
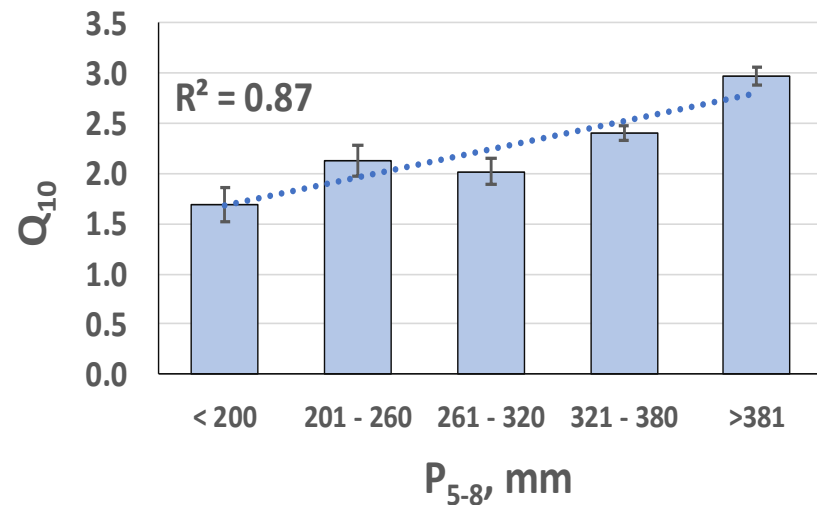
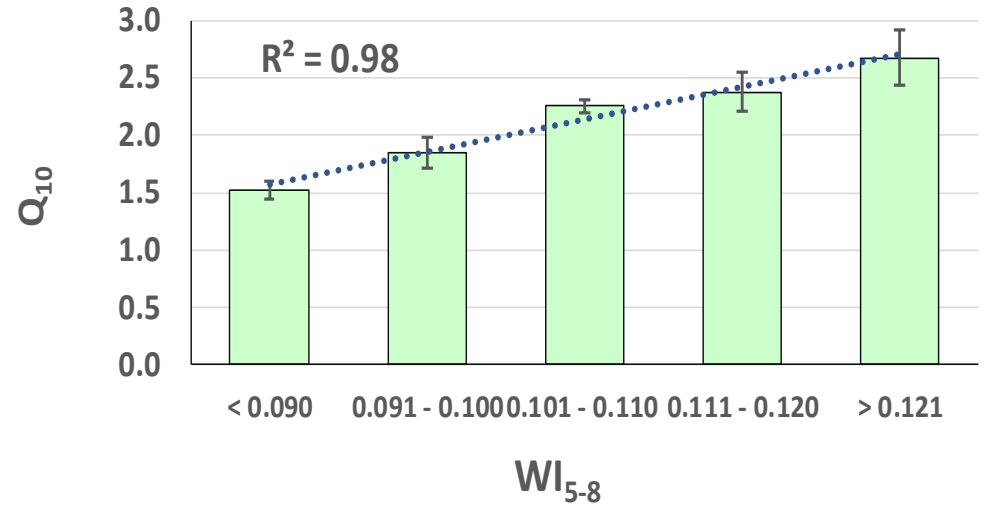
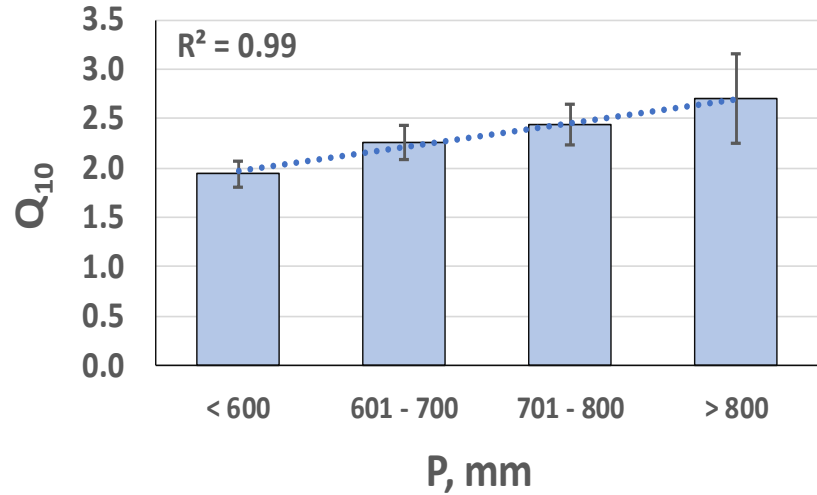
	Среднее	Медиана	Мин	Макс	Разброс	STD	CI	CV, %	Cos
Q_{10}^*	2.65	2.56	1.58	5.04	3.46	0.88	0.37	33.0	1.31
$Q_{10} T > 1^\circ\text{C}$	2.20	2.25	1.42	3.15	1.73	0.50	0.21	22.8	0.78

Корреляция между значениями Q_{10} и SR_{10} с метеорологическими индексами

	MAT	P	P ₅₋₈	P ₅₋₉	ST ₅₋₈	ST ₅₋₉	ГТК ₆₋₈	WI ₅₋₈	WI ₅₋₉	Q ₁₀	SR ₁₀
MAT	1										
P	-0.29	1.00									
P ₅₋₈	-0.25	0.76	1.00								
P ₅₋₉	-0.29	0.85	0.89	1.00							
ST ₅₋₈	0.12	-0.06	-0.36	-0.16	1.00						
ST ₅₋₉	0.14	-0.13	-0.39	-0.24	0.97	1.00					
ГТК ₆₋₈	-0.37	0.60	0.91	0.75	-0.56	-0.60	1.00				
WI ₅₋₈	-0.25	0.68	0.98	0.84	-0.51	-0.54	0.94	1.00			
WI ₅₋₉	-0.40	0.76	0.85	0.92	-0.38	-0.47	0.87	0.85	1.00		
Q ₁₀	0.10	0.49	0.74	0.66	-0.34	-0.38	0.60	0.74	0.57	1.00	
SR ₁₀	-0.69	0.41	0.41	0.38	-0.32	-0.34	0.54	0.43	0.51	0.14	1.00

Факторами, оказывающими значимое влияние на величину Q_{10} являются: сумма осадков (P, SP_{5-8} и SP_{5-9}), индексы влажности (WI_{5-8} и WI_{5-9}) и летний гидротермический коэффициент (HTC₆₋₈).

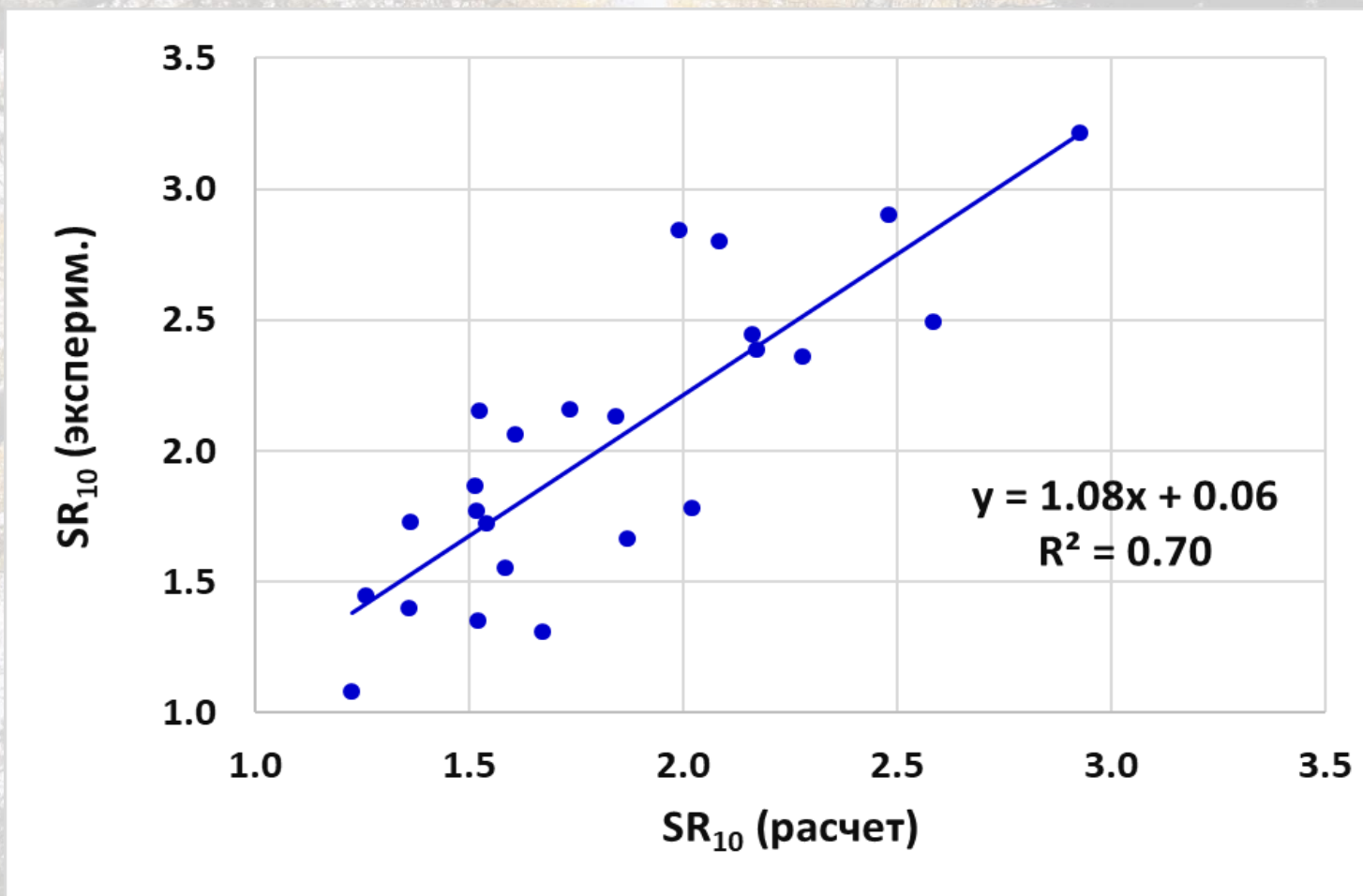
Ранговая корреляция между средними значениями Q_{10} и метеорологическими индексами



Величина Q_{10} в различные по длительности наблюдений временные интервалы

Период наблюдений	Среднее \pm SE	Мин.	Макс.	Размах	CV,%
1 год	2.65 \pm 0.22	1.57	5.04	3.70	33
2 года	2.57 \pm 0.14	1.69	3.81	2.12	25
3 года	2.53 \pm 0.12	1.74	3.37	1.63	22
4 года	2.46 \pm 0.10	1.74	3.14	1.40	19
5 лет	2.40 \pm 0.10	1.79	3.03	1.24	18

Взаимосвязь между расчетными и экспериментальными величинами SR_{10}



Выводы:

- Температурный отклик почвенного дыхания, выраженный через величину Q_{10} , заметно варьирует в зависимости от года и сезона исследований. В сухие годы величина Q_{10} на 20% ниже, чем в нормальные по увлажнению годы.
- В зависимости от года исследований, коэффициент вариации значений Q_{10} , рассчитанный для всего интервала температур составил 33%. Вариабельность величины Q_{10} была на 10% ниже, если оценку Q_{10} проводили при $T_s > 1^\circ\text{C}$.
- Величины SR , экспериментально определенные при 10°C , тесно взаимосвязаны с величинами SR_{10} , рассчитанными с использованием коэффициента Q_{10} .
- Основным фактором, значимо влияющим на величину Q_{10} дыхания дерново-подзолистой почвы, является степень увлажнения, которую можно выразить через сумму осадков (P , SP_{5-8} и SP_{5-9}), индексы влажности (WI_{5-8} и WI_{5-9}) и летний ГТК.
- Для более адекватной оценки температурной чувствительности дыхания почвы необходимо проводить исследования в течение 4–5 лет, что позволит сивелировать влияние погодных условий.



Спасибо за внимание!

***Исследование выполнено при поддержке РФФ
(проект № 22-24-00691)***