

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА ДЛЯ ВАЛИДАЦИИ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ

ТИМОФЕЕВ Ю.М.¹, ВИРОЛАЙНЕН Я.А.¹, ЕРМОЛЕНКО С.И.¹, ШВЕД
Г.М.¹, БЕРЕЗИН И.А.¹, СМЫШЛЯЕВ С.П.², МОЦАКОВ М.А.²,
KIRNER O.³

1- Санкт-Петербургский государственный университет

2 - Российский государственный гидрометеорологический университет

3 - Технологический Институт Карлсруэ, Вычислительный Центр им. К. Штайнбуха

Современные проблемы и задачи - Атмосферный озон

1. Что происходит со слоем озона на различных широтах и высотах - восстанавливается или уменьшается?
2. Полярный и субполярный озон - озоновые дыры над Россией
3. Тропосферный озон - разработка методов и аппаратуры и спутниковый мониторинг тропосферы
4. Валидация и совершенствование численных моделей
5. Прогнозы озоновых дыр

Проверка качества численных моделей атмосферы

Что: химико-транспортная модель состава нижней и средней атмосферы **РГГМУ** - в качестве динамических параметров напрямую использовались данные ре-анализа MERRA;

химико-климатическая модель **EMAC** (ECHAM/MESSy Atmospheric Chemistry model) - изменчивость динамических параметров рассчитывалась с использованием ассимиляции результатов ре-анализа ERA-INTERIM

Как: измерения спутниковым прибором Solar Backscatter Ultraviolet Instrument (SBUV) в различных слоях атмосферы

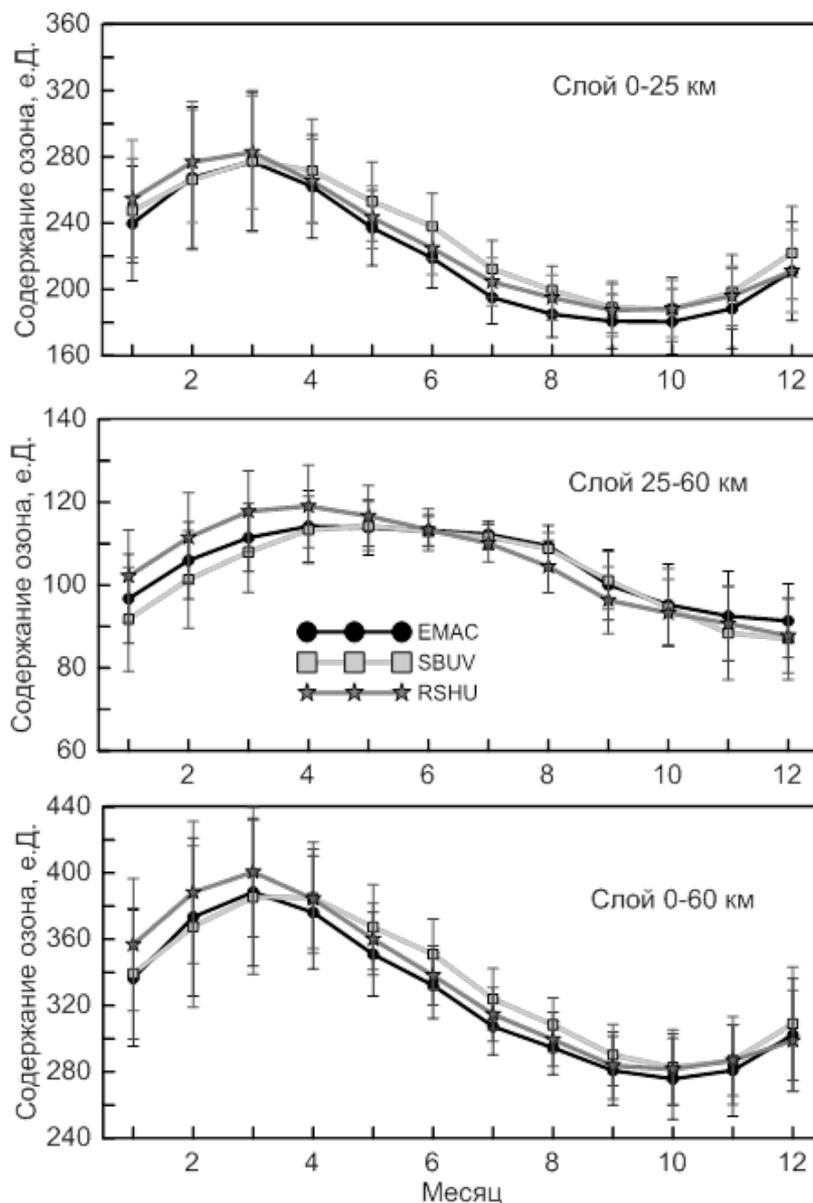
Когда: с 1 января 2000 г. по 31 декабря 2015 г.

Где: Привязка к наземным станциям - Кируна (68N), Харестуа (60N) и Санкт-Петербург (60N)

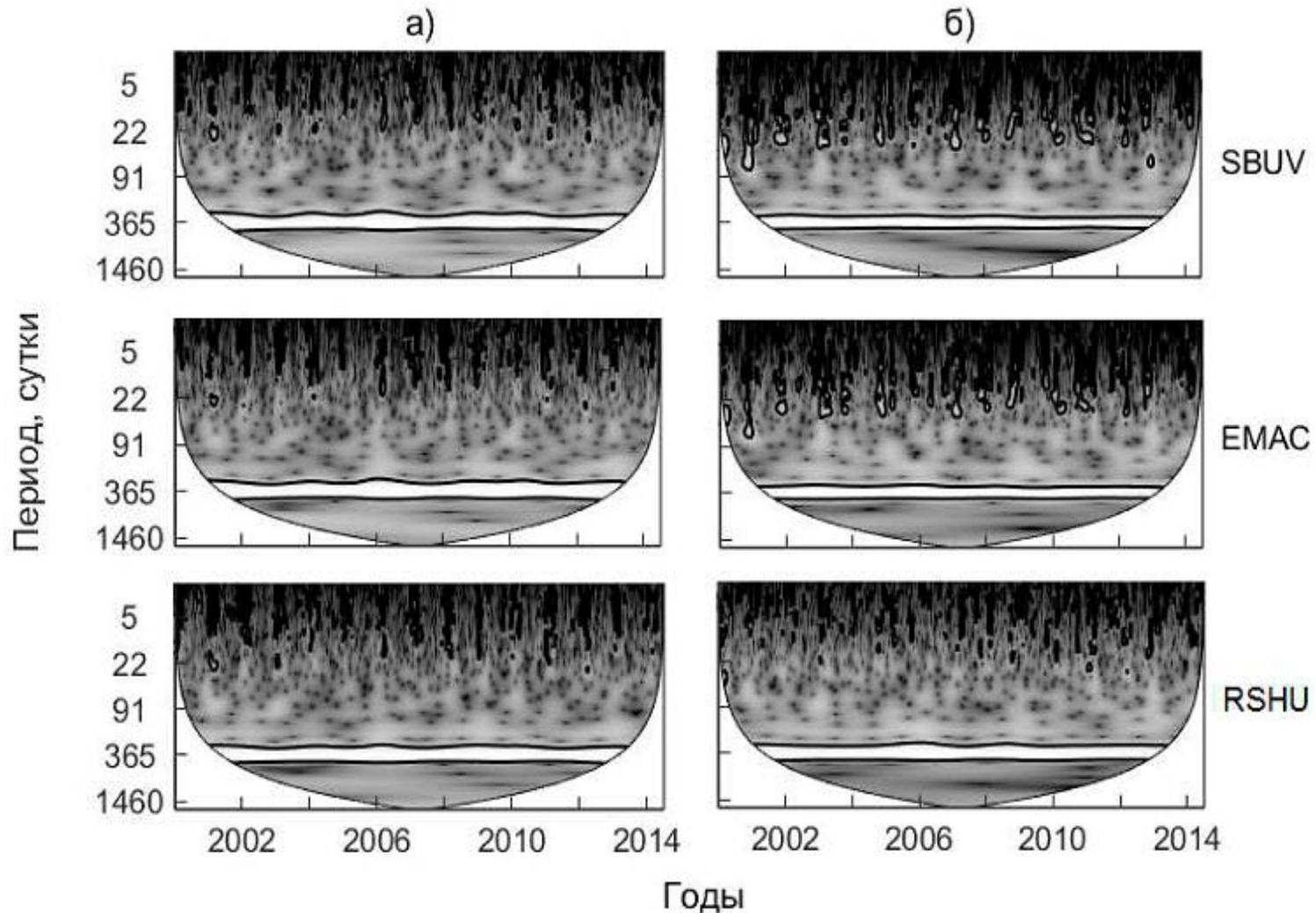
Статистические характеристики сопоставлений

Слой	0-60 км			0-25 км			25-60 км		
Ансамбли	Рассогласование		КК	Рассогласование		КК	Рассогласование		КК
	е.Д.	%		е.Д.	%		е.Д.	%	
SBUV - EMAC (STP)	8 ± 15	2.5 ± 4.7	0.950 ± 0.001	10 ± 15	4 ± 6	0.942 ± 0.001	-1.9 ± 3.9	-1.9 ± 3.8	0.955 ± 0.001
SBUV - XTM (STP)	0 ± 22	0 ± 7	0.901 ± 0.002	3 ± 19	1 ± 8	0.891 ± 0.003	-2.5 ± 7.6	-2.4 ± 7.4	0.836 ± 0.004
SBUV - EMAC (HAR)	8 ± 16	2.4 ± 4.8	0.947 ± 0.001	11 ± 15	5 ± 7	0.936 ± 0.002	-2.7 ± 3.8	-2.7 ± 3.7	0.956 ± 0.001
SBUV - XTM (HAR)	3 ± 23	1 ± 7	0.891 ± 0.003	6 ± 20	3 ± 9	0.879 ± 0.003	-3 ± 8	-3 ± 8	0.817 ± 0.004
SBUV - EMAC (KIR)	10 ± 15	3 ± 4	0.964 ± 0.001	12 ± 14	5 ± 6	0.960 ± 0.001	-1.5 ± 3.9	-1.6 ± 4.0	0.944 ± 0.002
SBUV - XTM (KIR)	4 ± 23	1 ± 7	0.916 ± 0.002	10 ± 20	4 ± 8	0.908 ± 0.003	-6 ± 9	-6 ± 9	0.783 ± 0.006

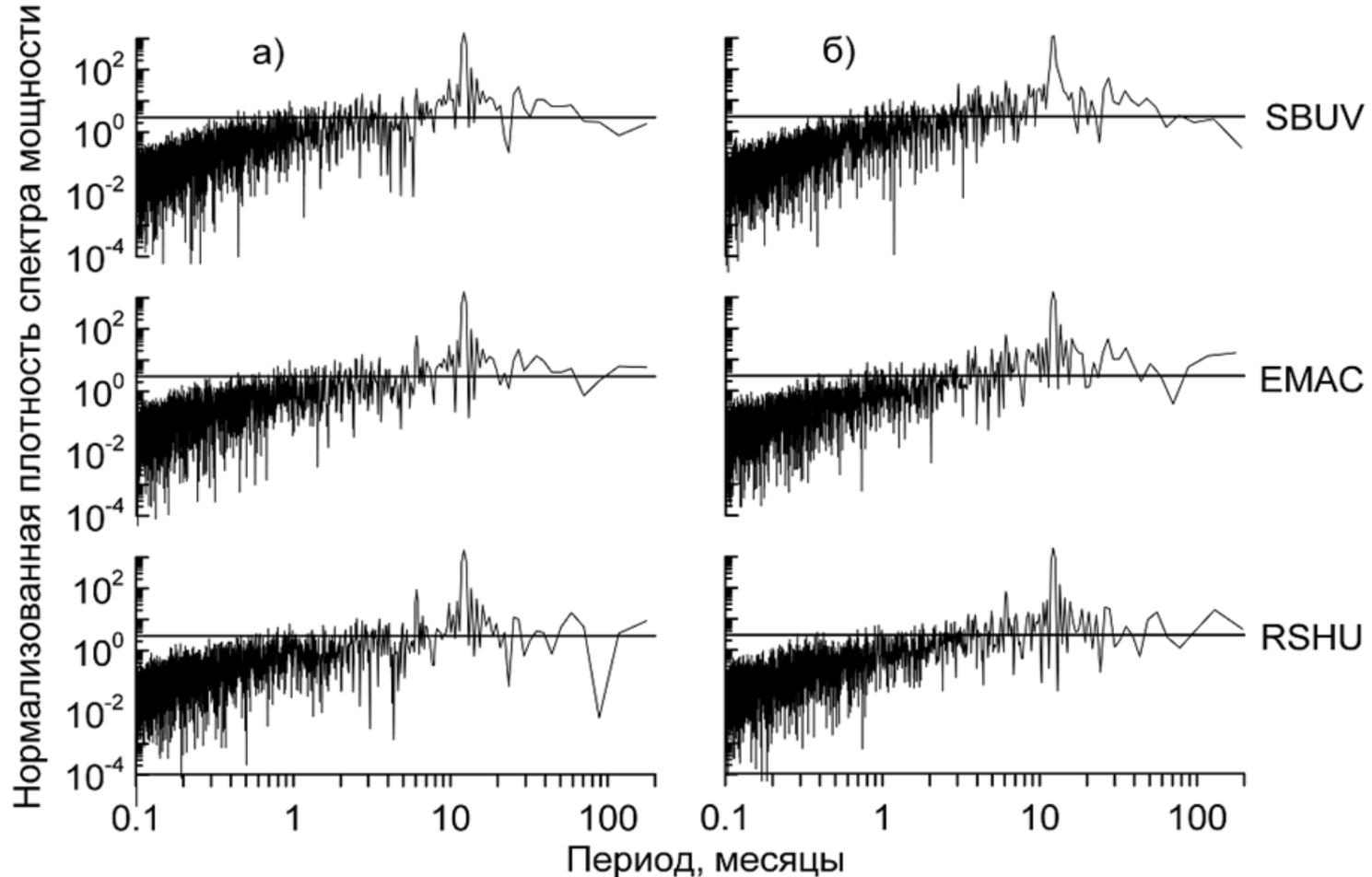
Сезонный ход среднемесячных значений содержания озона в трех слоях для станции Санкт-Петербург



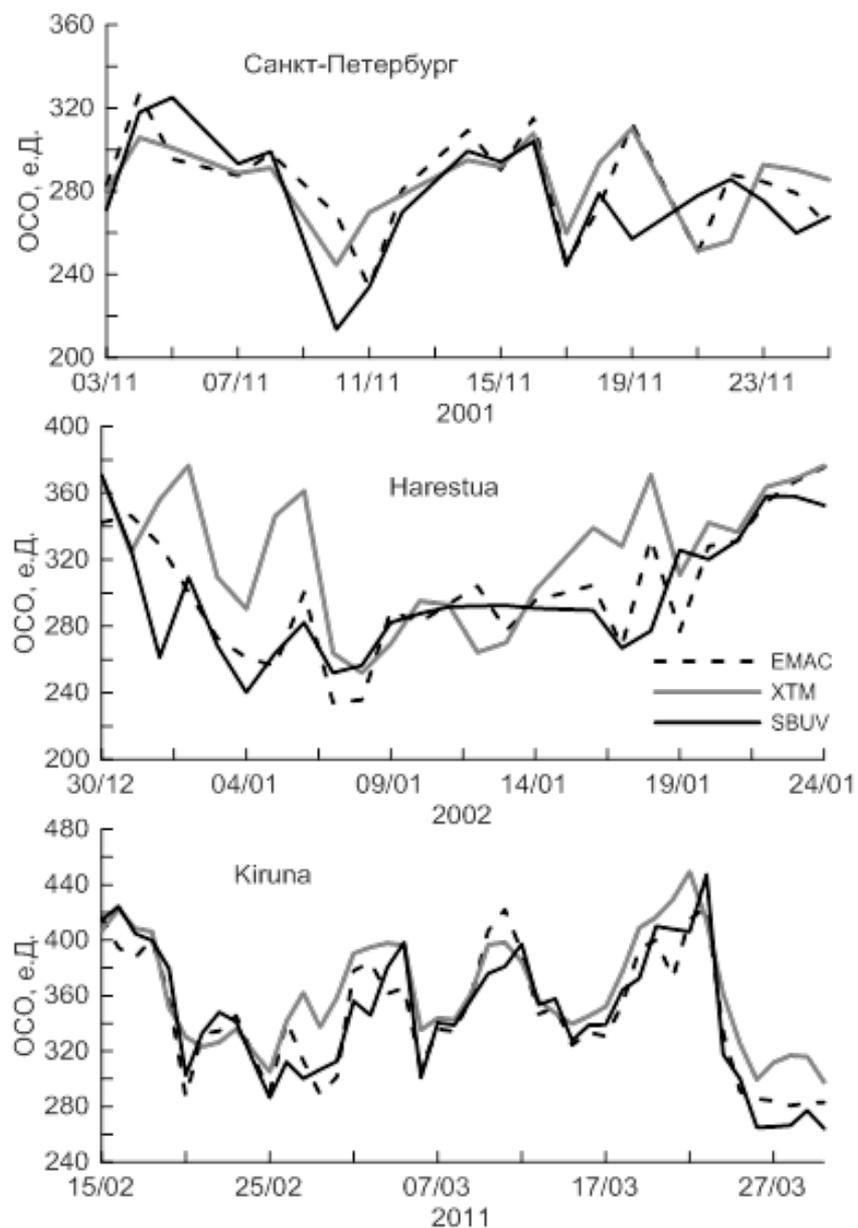
Вейвлет-спектры содержания озона над Санкт-Петербургом в слоях 0-25 км (а) и 25-60 км (б) по данным SBUV, EMAC и РГГМУ



Фурье-спектры содержания озона в слое 0-25 км над Санкт-Петербургом (а) и Кируной (б) по данным SBUV, EMAC и РГГМУ



Периоды быстрых вариаций ОСО



Долговременные тренды содержания озона

Санкт-Петербург

Слой	0-25 км		25-60 км		0-60 км	
	е.Д. / год	% / декада	е.Д. / год	% / декада	е.Д. / год	% / декада
Ансамбли						
SBUV	-0.39±0.24	-1.68±1.03	+0.22±0.07	+2.1±0.7	-0.17±0.27	-0.51±0.81
EMAC	-0.17±0.24	-0.77±1.11	+0.06±0.07	+0.60±0.63	-0.11±0.28	-0.33±0.85
XTM	-0.11±0.23	-0.50±1.01	+0.06±0.08	+0.57±0.72	-0.05±0.28	-0.16±0.85

Кируна

Слой	0-25 км		25-60 км		0-60 км	
	е.Д. / год	% / декада	е.Д. / год	% / декада	е.Д. / год	% / декада
Ансамбли						
SBUV	-0.20±0.30	-0.82±1.25	+0.14±0.08	+1.48±0.78	-0.06±0.35	-0.17±1.04
EMAC	+0.00±0.26	+0.01±1.13	+0.02±0.07	+0.23±0.72	+0.02±0.31	+0.07±0.95
XTM	-0.24±0.24	-1.03±1.05	+0.10±0.22	+1.86±4.04	-0.14±0.24	-0.48±0.84

Харестуа

Слой	0-25 км		25-60 км		0-60 км	
	е.Д. / год	% / декада	е.Д. / год	% / декада	е.Д. / год	% / декада
Ансамбли						
SBUV	-0.02±0.23	-0.07±1.02	+0.25±0.07	+2.4±0.7	0.23±0.27	0.7±0.8
EMAC	+0.18±0.24	+0.84±1.08	+0.11±0.06	+1.06±0.61	+0.30±0.27	+0.9±0.8
XTM	+0.19±0.22	+0.83±0.99	+0.10±0.08	+0.95±0.71	+0.29±0.27	+0.9±0.8

Основные результаты и выводы

Для периода 2000-2015 гг. проведены исследования временных вариаций CO в двух слоях (0-25 и 25-60 км), а также OSO для трех локаций (Санкт-Петербург, Харестуа и Кируна) с помощью спутниковых измерений $SBUV$, а также численных моделей $EMAC$ и $РГГМУ$.

В целом, обе модели хорошо согласуются с данными $SBUV$. Модель $EMAC$ более точно описывает изменчивость озона по данным измерений, чем модель $РГГМУ$. В то же время модель $РГГМУ$ в среднем ближе к измерениям, чем модель $EMAC$.

Основные результаты и выводы

Анализ среднемесячных значений CO показал, что в слое **0-25 км** (а также **ОСО**) обе модели недооценивают CO в период с апреля по октябрь. В остальные месяцы расчеты по модели EMAC хорошо совпадают с измерениями, в то время как в январе-марте модель РГГМУ превышает данные SBUV.

В слое **25-60 км**, данные моделирования переоценивают измерения в первые четыре месяца года: модель EMAC в меньшей степени, модель РГГМУ - в большей.

Основные результаты и выводы

Фурье- и вейвлет-анализ спектров вариаций CO по данным измерений и моделирования, в целом, показал их хорошее согласие.

11-летняя периодичность и ПГО в Фурье-спектрах проявляются в слое **0-25 км** гораздо сильнее по модельным данным, чем по наблюдениям.

В слое **25-60 км** Фурье-спектры по модели ЕМАС как и по данным SBUV уверенно демонстрируют 11-летнюю периодичность, но по модели РГГМУ она оказывается довольно слабой.

Основные результаты и выводы

В области периодов волн Россби от ~ 2 до ~ 30 суток вейвлет-спектры для слоя **25–60 км** по данным EMAC и SBUV хорошо совпадают, в то время как вейвлет-спектры по данным РГГМУ показывают не только гораздо более слабое влияние этих волн на вариации CO , но иногда воздействие волн на озон даже по времени не совпадает с наблюдениями.

Для слоя **0–25 км** обе модели хорошо воспроизводят эффект волн Россби.

Основные результаты и выводы

Обе модели в среднем хорошо описывают случаи относительно быстрого падения **ОСО**, что важно для прогнозирования увеличений УФ освещенности поверхности. Однако, модель РГГМУ сильнее недооценивает падение озона (иногда до 35 е.Д.). Модель ЕМАС недооценивает падение ОСО, в среднем на 10 е.Д. для станций Санкт-Петербург и Харестуа, а на станции Кируна даже несколько переоценивает это падение.

Основные результаты и выводы

Оценки долговременных трендов CO за рассмотренный период как по расчетным, так и по измеренным данным указывают на очень малые тренды в CO в районе рассматриваемых наземных субарктических станций.

Из достоверных оценок укажем на падение CO в слое 0-25 км (-1.68 ± 1.03 %/декаду), а также рост ($+2.1 \pm 0.7$ %/декаду) в слое 25-60 км по данным SBUV в Санкт-Петербурге (модели не противоречат этим оценкам), а также рост CO в слое 25-60 км ($+1-2 \pm 0.7$ %/декаду) на станциях Харестуа и Кируна.

Благодарности

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ
14-17-00096

Спасибо за внимание