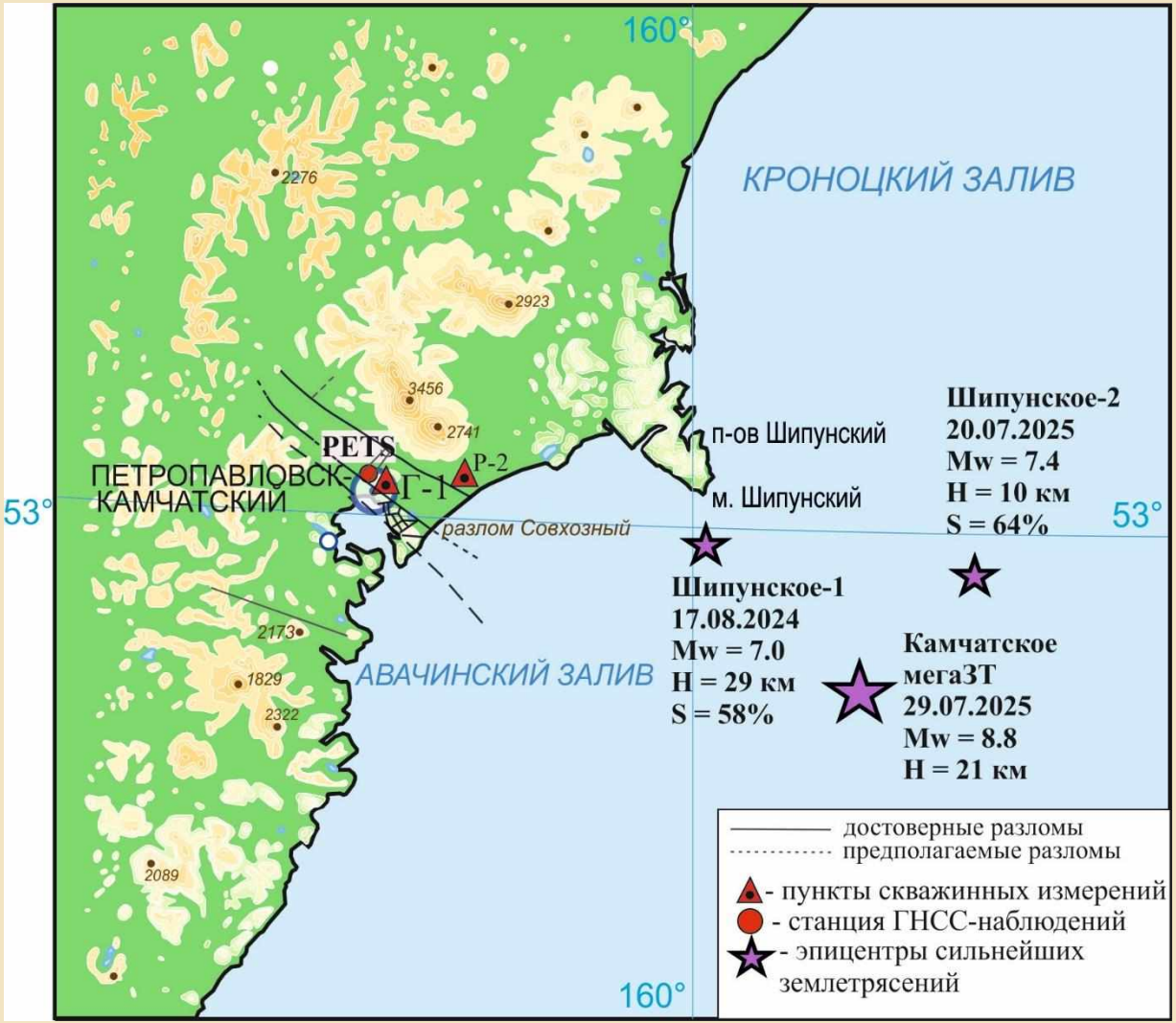
Многолетние вариации полного электронного содержания ионосферы над районом подготовки Камчатского мегаземлетрясения (29.07.2025 г., Mw=8.8). Сопоставление с изменениями удельного электрического сопротивления геосреды в подионосферной зоне

Полтавцева Е.В.,
Сагарьяров И.А., Малышева А.С., Бусс Ю.Ю., Морозова Ю.В., Гаврилов В.А.

Камчатский государственный
университет имени Витуса Беринга

Институт вулканологии и сейсмологии
ДВО РАН



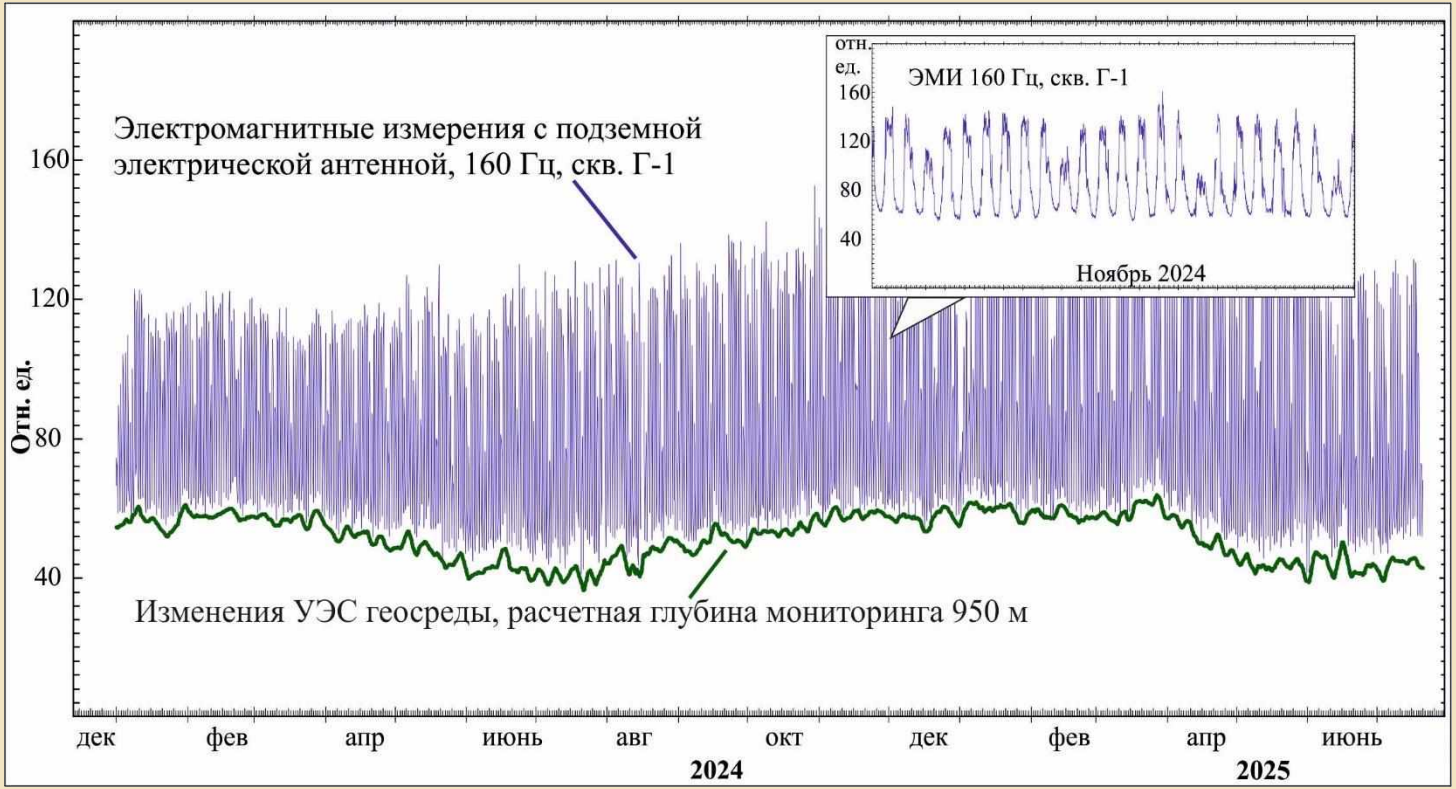
Петропавловск-Камчатский геодинамический полигон

Цель работы -

сопоставить результаты многолетних измерений ПЭС ионосферы по данным локальных ГНСС-станций с результатами наземного геофизического мониторинга, в частности, скважинных электромагнитных измерений

МЕТОД НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ (УЭС) ГЕОСРЕДЫ

разработан на базе измерений с подземными электрическими антеннами



Зондирующий сигнал фоновое электромагнитное излучение в зоне скважины

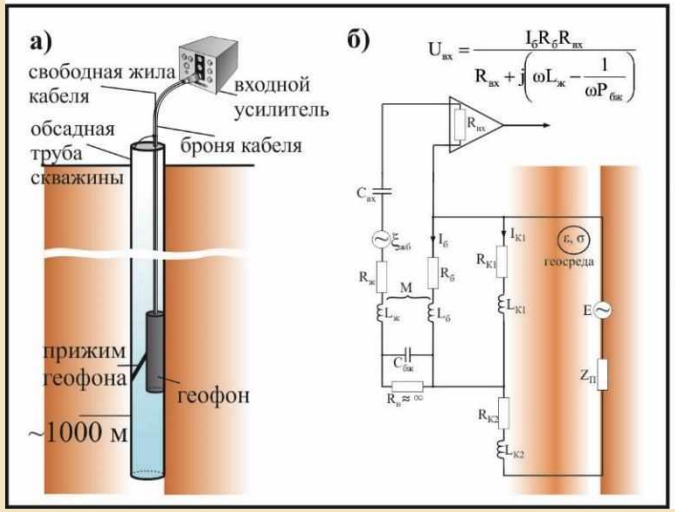
Датчики - подземные электрические антенны, основным конструктивным элементом которых является металлическая обсадная колонна скважины

Физическая основа метода - зависимость УЭС геосреды от влажности горных пород, окружающих скважину



Конструкция (а) и процесс строительства (б) подземной электрической антенны типа «монополь» на базе скважины Р-2. Антенны такого типа обладают высокой чувствительностью, что позволяет использовать для целей мониторинга НДС геосреды даже слабые ЭМИ естественного происхождения. Требуется наличие свободной площади вокруг скважины для размещения подземного рефлектора.

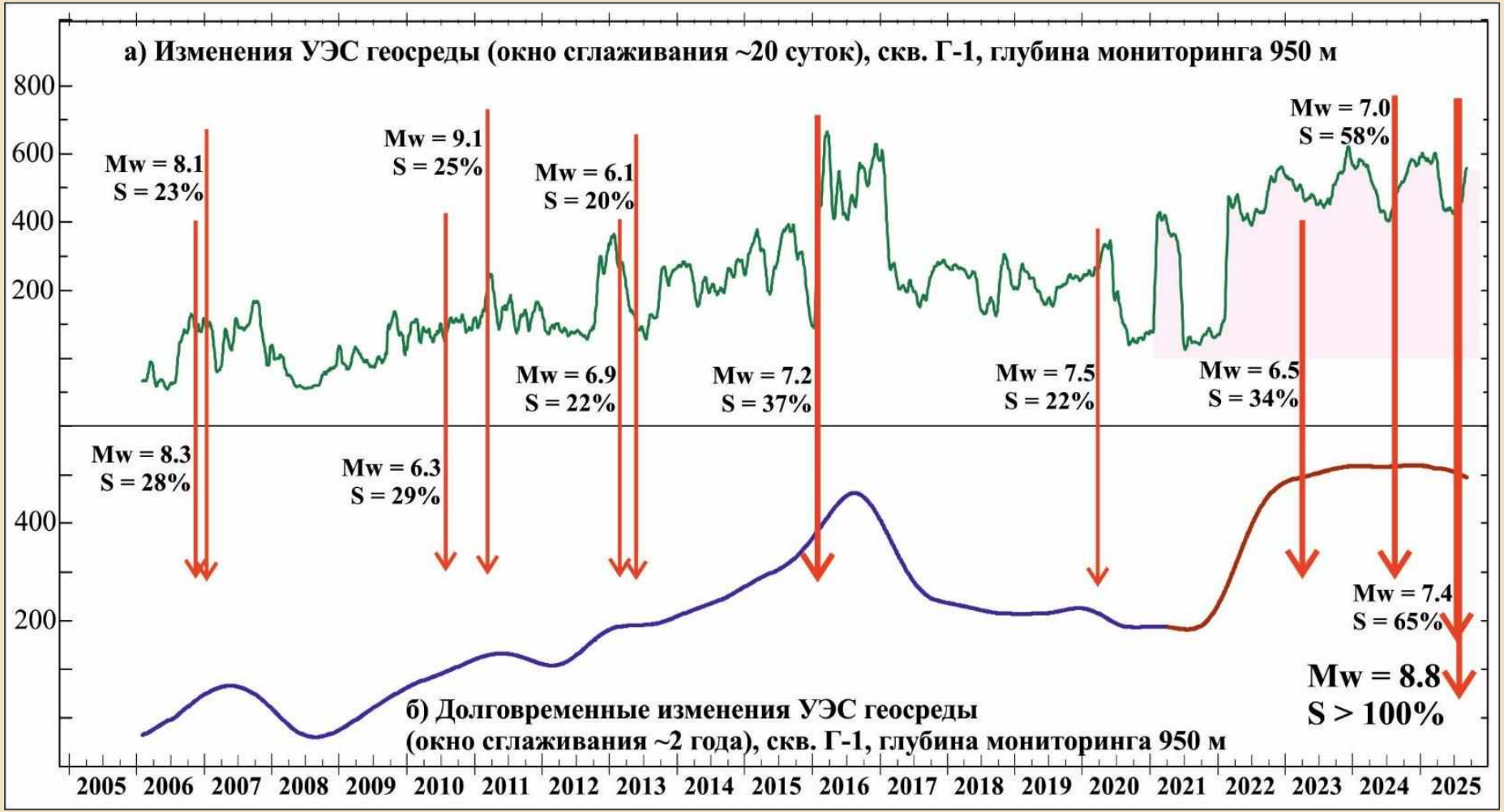




Конструкция (а) и эквивалентная схема (б) подземной электрической антенны для измерений на скважинах Г-1 и Е-1. Используется в условиях городской застройки, не требуется наличие свободной площади вокруг скважины.



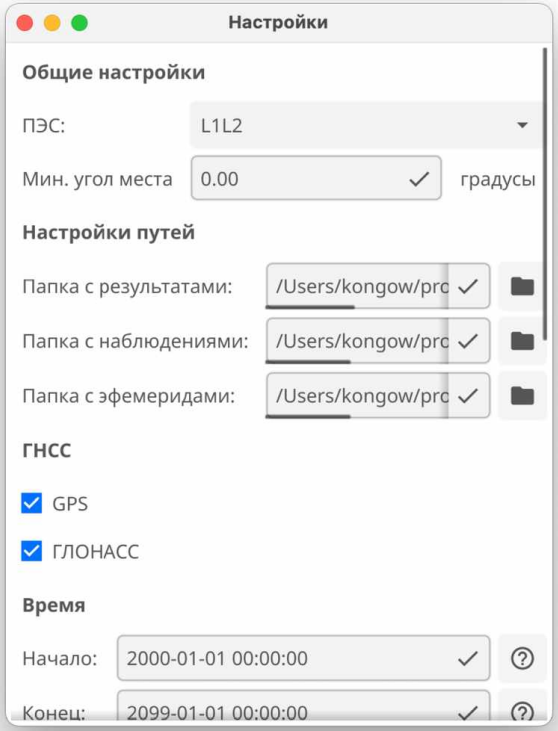
Длиннопериодные вариации УЭС геосреды (2005-2025)



Длиннопериодные вариации УЭС геосреды (2005-2025)

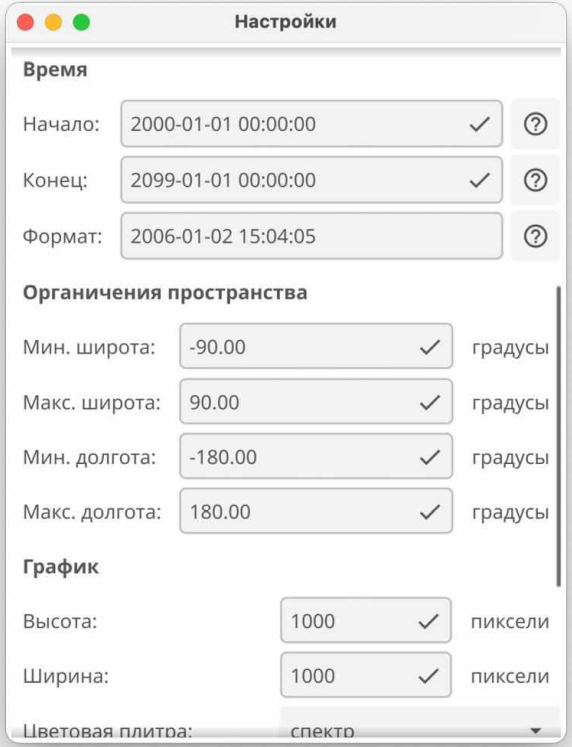


Временной ряд многолетних вариаций вертикального ПЭС ионосферы рассчитан на основе данных ГНСС-станции PETS (Камчатская сеть КФ ГС РАН) с момента начала ее функционирования в 2002 г. В качестве референсных значений использовались данные GIM (CODE, Астрономический институт Университета Берна, Швейцария, формат IONEX)



Расчет значений ПЭС проводился с использованием программного комплекса Ион

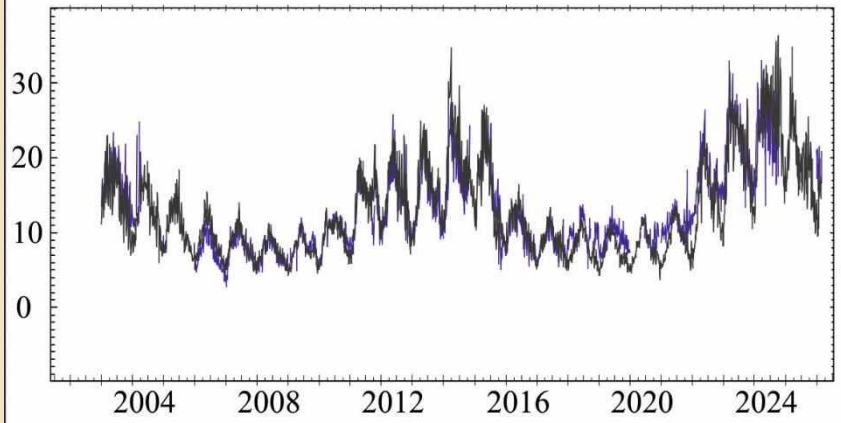
С целью минимизации ДКЗ для расчетов использовались одновременно кодовые и фазовые псевдодальности, а также отсекались низкие (менее 30 градусов) углы элевации (углы места)



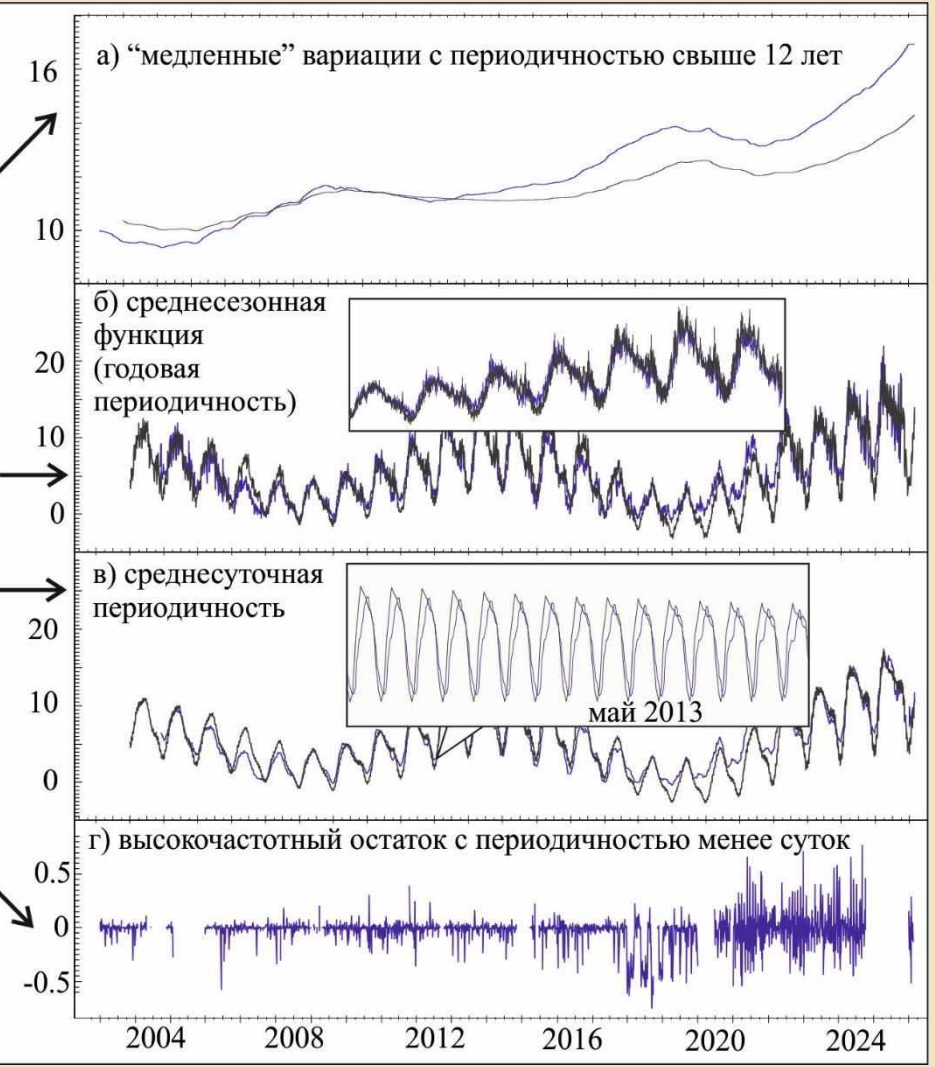
среднесуточные вариации вертикального ПЭС ионосферы

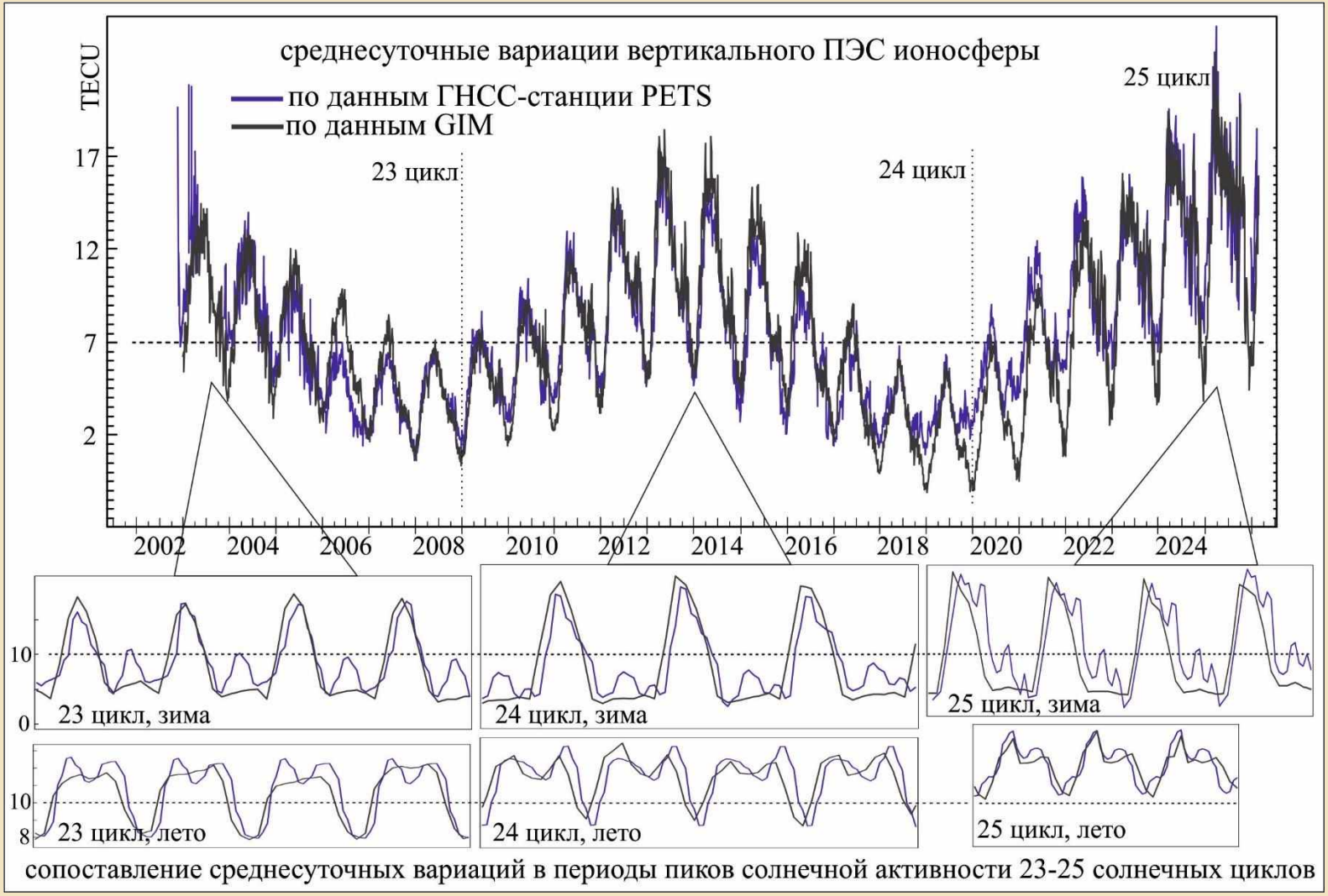
по данным ГНСС-станции PETS

по данным GIM



декомпозиция временных рядов ПЭС на составляющие с различными периодичностями

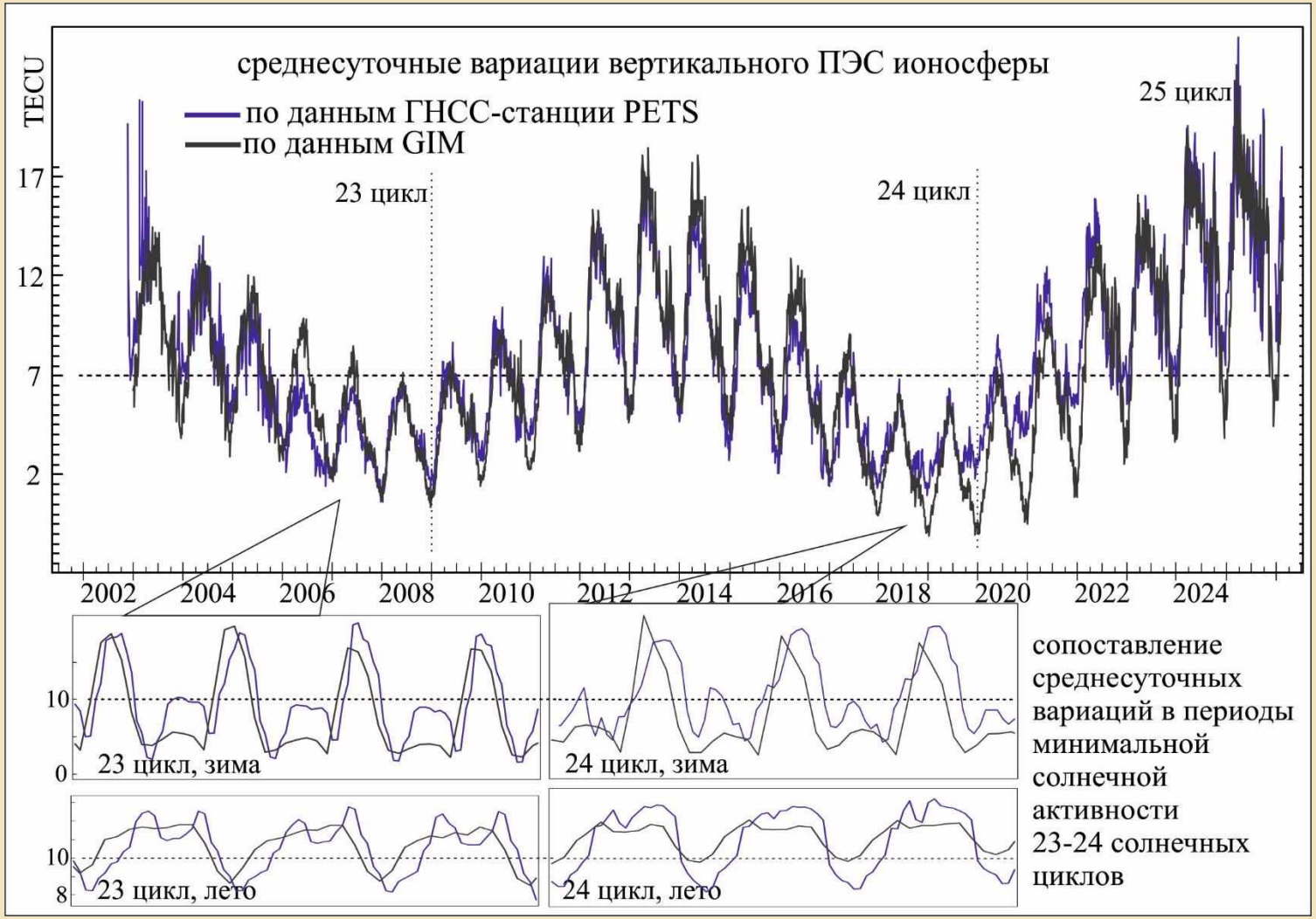




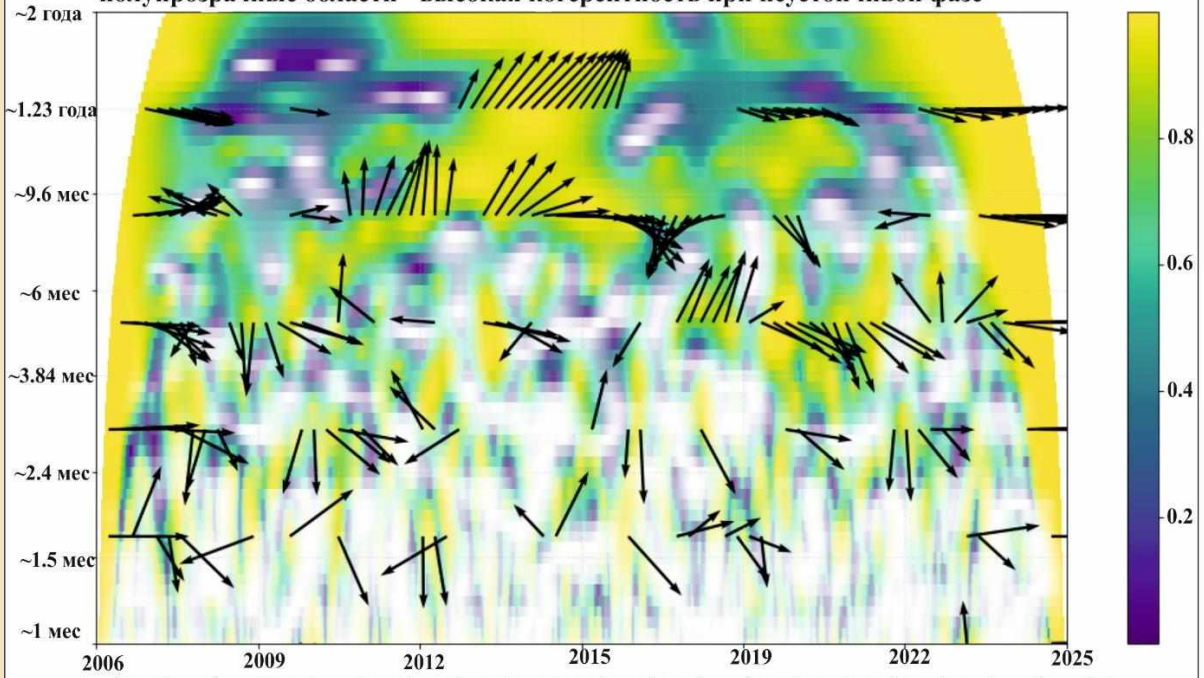
сопоставление среднесуточных вариаций в периоды пиков солнечной активности 23-25 солнечных циклов

анализ среднесуточных вариаций ПЭС в годы с высокой солнечной активностью

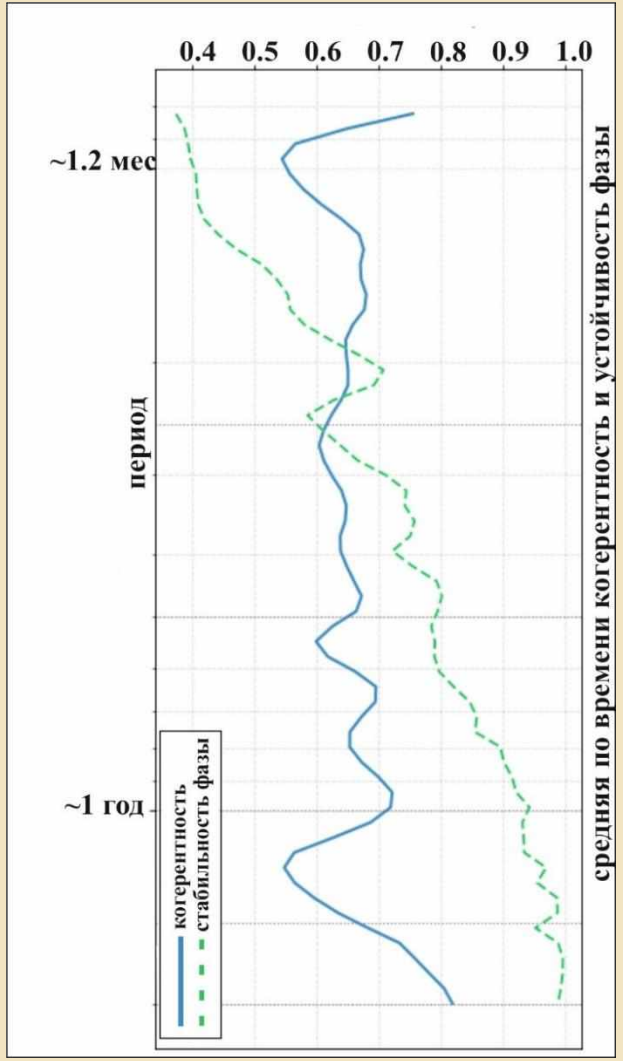
В весенне-летний период наблюдается “двугорбая” структура суточных вариаций (два локальных максимума), в зимний период - вторичный ночной всплеск, связанные с ветровым режимом в средних широтах


среднесуточные вариации вертикального ПЭС ионосферы
по данным ГНСС-станции PETS
по данным GIM
TECU
17
12
7
2
23 цикл
24 цикл
25 цикл
2002
2004
2006
2008
2010
2012
2014
2016
2018
2020
2022
2024
10
0
23 цикл, зима
24 цикл, зима
10
8
23 цикл, лето
24 цикл, лето
сопоставление среднесуточных вариаций в периоды минимальной солнечной активности 23-24 солнечных циклов

вейвлет-когерентность медленных трендов рядов ПЭС ионосферы и УЭС геосреды
(вейвлет Морле, периоды 30 суток - 2 года) ,
полупрозрачные области - высокая когерентность при неустойчивой фазе







Обсуждение результатов

- многолетние вариации ПЭС ионосферы по данным локальной ГНСС-станции PETS хорошо коррелируют с данными глобальных ионосферных карт (GIM, Центр CODE), отражая все сезонные особенности изменения ионосферы в периоды высокой и низкой солнечной активности 23, 24 и 25 солнечных циклов, включая форму и амплитуду суточных вариаций; декомпозиция исходных рядов ПЭС на составляющие с различными периодичностями показывает хорошую сходимость всех выделенных компонент;

- данные ПЭС (PETS) и данные ПЭС (GIM) содержат отчетливый многолетний тренд, направленный на рост среднего уровня, в большей степени характерный для данных по PETS; возможно, локальная станция PETS отражает в том числе процессы в геосреде перед сильнейшим Камчатским мегаземлетрясением за период наблюдений;

- длиннопериодные вариации, выделенные из рядов ПЭС ионосферы (PETS) и удельного электрического сопротивления геосреды по данным скважинных электромагнитных наблюдений показывают достаточно высокую степень коррелированности (до 0.8 вейвлет-когерентности Морле на периодах 1-2 года при высокой стабильности фазы).

Спасибо за внимание!