

Анализатор спектра поля атмосфериков – инструмент изучения гелиогеофизической обстановки

Алексей Галахов (galex@pgia.ru)

В статье приводятся результаты обработки экспериментальных данных поля атмосфериков (ПА), полученных в двух авроральных обсерваториях при разных геофизических условиях. Полученные результаты показывают целесообразность использования анализатора спектра поля атмосфериков в составе наземной геофизической обсерватории для изучения физико-химических процессов в околоземном пространстве.

Данная публикация является продолжением работы, описанной в предыдущей статье [1]. Если в первой статье были приведены алгоритм работы анализатора спектра поля атмосфериков (АСПА), структурная схема, особенности работы анализатора, примеры АЧХ поля атмосфериков, то ниже приводятся первичные результаты обработки экспериментальных данных, полученных в двух авроральных обсерваториях Полярного геофизического института РАН: Ловозеро, Мурманская обл. (67,97°N, 35,02°E) и Баренцбург, арх. Шпицберген (78,08°N, 14,22°E).

Как отмечалось ранее, измерение спектральных характеристик поля атмосфериков (ПА) позволяет получать информацию как о свойствах распространения радиоволн, входящих в их спектр, так и о свойствах среды распространения сигнала, какой является волновод земля-ионосфера [2, 3].

В связи с тем что в литературе отсутствуют экспериментальные данные по АЧХ ПА, для большей достоверности полученных результатов в статье приведено значительное число сеансов записи спектров ПА при различных гелиогеофизических условиях. В данной работе АЧХ ПА рассматриваются синхронно во времени со стандартными геофизическими наблюдениями (нейтронный монитор, магнитометр) отдельно для каждой обсерватории.

Обсерватория ПГИ Ловозеро, Мурманская область

На рисунке 1 представлен пример одновременной шестидневной записи спектров ПА (отдельно с ортогональных направлений Нх, Ну), показаний нейтронного монитора (НМ) [4] и магнитного поля Земли [5]. Если проана-

лизировать синхронную запись геофизических явлений, представленных на рисунке 1, то можно выделить несколько особенностей:

1. отличие АЧХ ПА, зарегистрированных с ортогональных направлений: Нх (север–юг), Ну (запад–восток).

По характеру спектра можно судить о положении источника ионизации ионосферы Земли;

2. при спокойном геомагнитном поле 20 и 25 января 2020 года наблюдалась синхронность вариаций космических лучей (показания нейтронного монитора $\Delta A_{\text{НМ}} = 3...4$) с изменениями значений критической частоты волновода $F_{\text{кр}}$ в диапазоне частот $\Delta F_{\text{кр}} = 900...2400$ Гц. Длительность данных вариаций лежит в широких пределах: от единиц минут до нескольких часов. Степень освещённости ионосферы Солнцем влияет на величину частотной девиации $F_{\text{кр}}$;

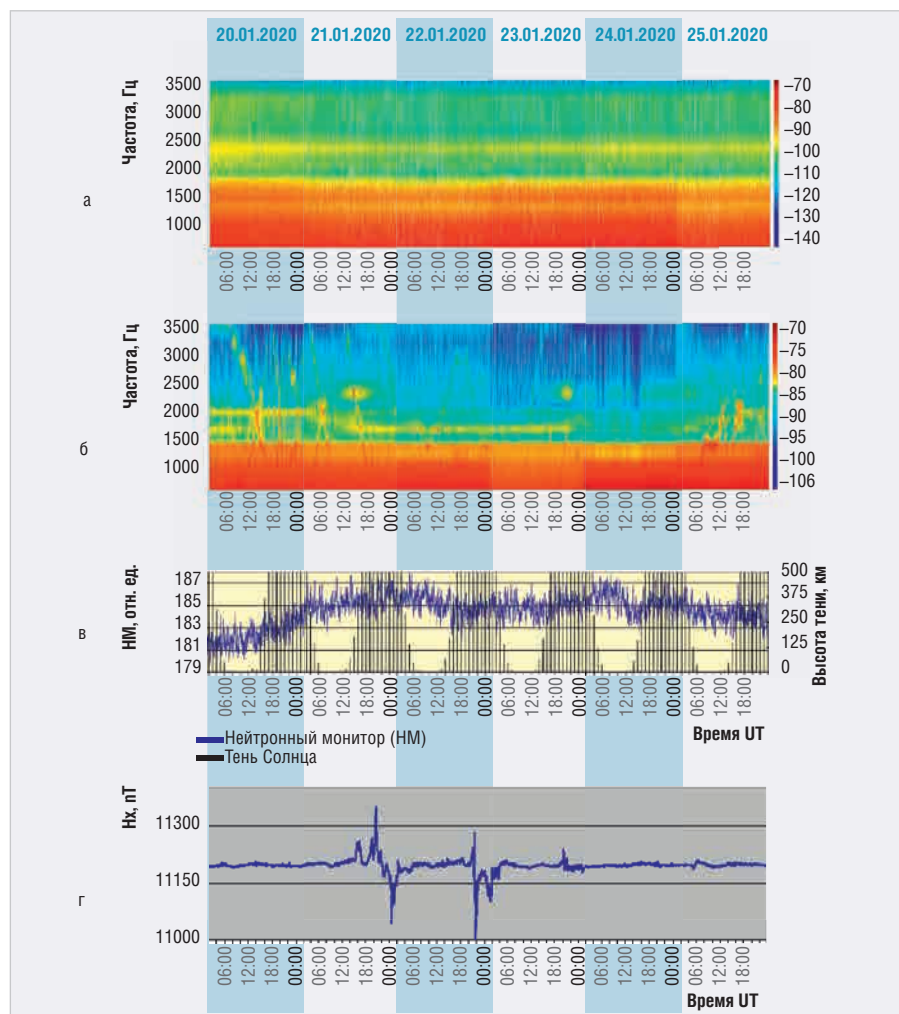
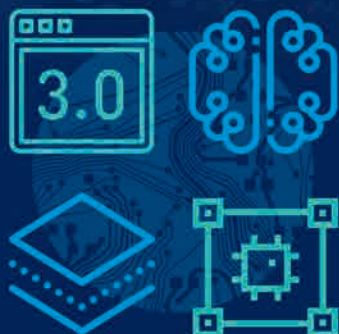


Рис. 1. Одновременная запись АЧХ ПА Нх-Ну, показаний нейтронного монитора (НМ), магнитограммы геомагнитного поля, графика линии захода и восхода Солнца (20-25).01.2020: а) сонограмма Нх-ПА (обс. Ловозеро); б) сонограмма Ну-ПА (обс. Ловозеро); в) НМ и график линии восхода и захода Солнца (Апатиты, Мурманская обл.); г) вариации магнитного поля Земли (обс. Соданкиля, Финляндия)



DeltaDesign 3.0

Новая версия первой российской современной САПР электроники сквозного цикла проектирования



- Улучшенный интерфейс
- Импорт библиотек из САПР Altium Designer
- Обширная библиотека SPICE-моделей (> 35 000 моделей)
- Аналоговое и цифровое моделирование в едином интерфейсе Delta Design
- Работа со встроенными блоками на принципиальной электрической схеме
- Изменённый режим синхронизации схемы и платы, ведение истории изменений проекта
- Расширение функционала редактора печатных плат
- Чертёж - новый модуль для оформления КД на печатную плату
- DeltaCAM – новый программный продукт для работы с производственными файлами

Скачайте триальную версию Delta Design 3.0 после короткой регистрации
www.eremex.ru/download-or-buy



Подайте заявку на очную или онлайн-презентацию новых возможностей САПР Delta Design 3.0 для разработчиков вашего предприятия на сайте www.eremex.ru

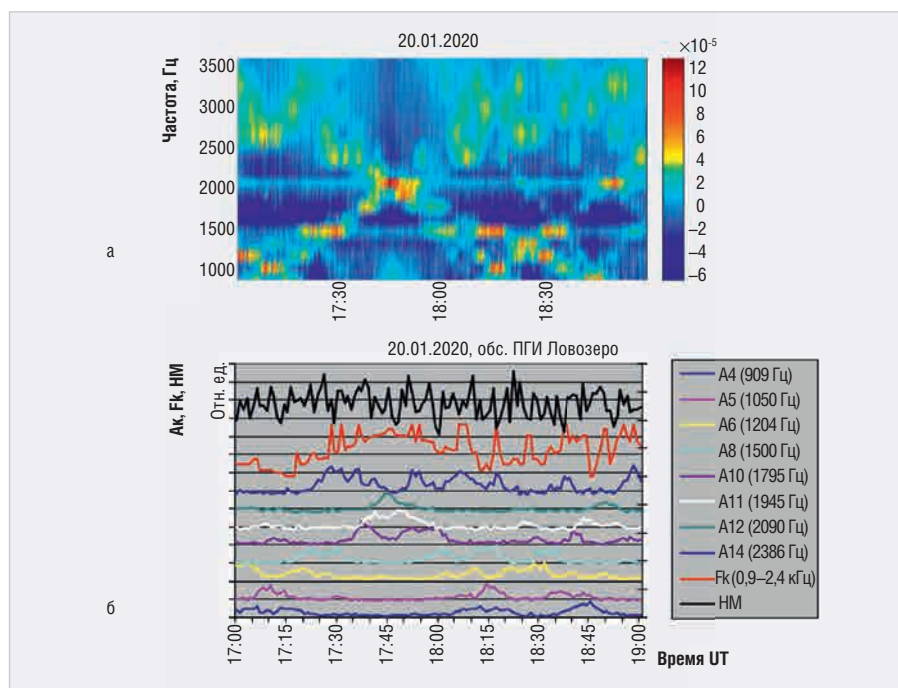


Рис. 2. Двухчасовой фрагмент АЧХ поля атмосфериков и вариации НМ 20.01.2020, обс. ПГИ Ловозеро, Апатиты: а) сонограмма ПА без учёта поверхностной волны; б) синхронная запись вариации нейтронного монитора, критической частоты $F_{кр}$ и узкополосных каналов Ак

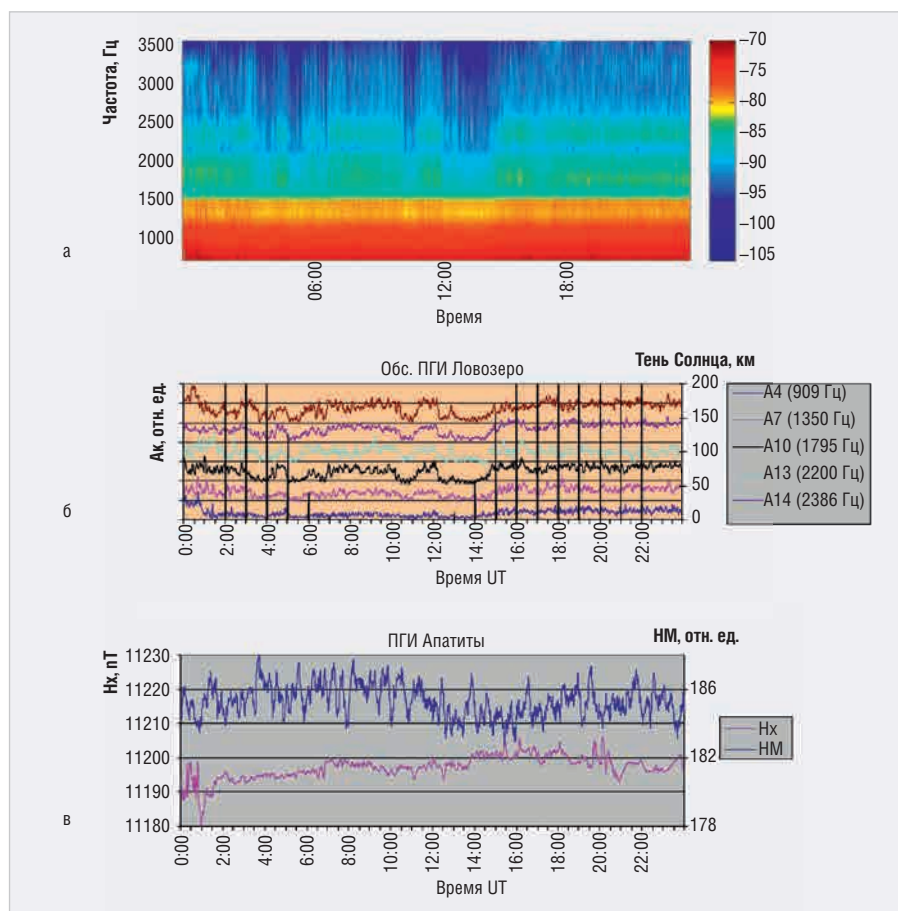


Рис. 3. Синхронная суточная запись АЧХ поля атмосфериков, показаний НМ и магнитогаммы Земли 24.01.2020: а) сонограмма ПА, обс. ПГИ Ловозеро; б) набор узкополосных каналов АСПА; в) вариации показаний НМ и магнитометра

3. при спокойном геомагнитном поле 24.01.2020 и освещённой Солнцем ионосфере с увеличени-

ем показаний нейтронного монитора ($\Delta A_{нм} \approx 7...9$), длительности вариаций $\Delta T \approx (10...80)$ мин и значительным

уменьшением амплитуды минутных вариаций НМ ($\Delta A_{нм} < 1$) наблюдается режим кратковременного затухания (1...2) ч волноводного распространения радиосигналов в диапазоне частот $\Delta F_3 = (1,5...3,6)$ кГц. Частотный диапазон затухания сигнала, вероятно, простирается и выше, но возможность его измерения ограничена верхней частотой анализа АСПА.

Алгоритм построения АСПА [1] позволяет получать тонкую структуру спектра ПА, что даёт возможность исследовать как поведение критической частоты волновода, так и отдельных спектральных составляющих, включая моды ($n \geq 1$) поперечных резонансов волновода [3]. Рассмотрим отдельно указанные ранее особенности поведения АЧХ ПА при различной геофизической обстановке.

Вариации критической частоты волновода

На рисунке 2 представлен двухчасовой (17:00–19:00, 20.01.2020) фрагмент сонограммы спектра ПА без учёта поверхностной волны (см. рис. 2а), набора нормированных огибающих Ак (номер канала АСПА) узкополосных фильтров анализатора (см. рис. 2б). Временное разрешение АСПА (1 мин) позволяет получать значение критической частоты $F_{кр}$ синхронно с показаниями НМ.

На рисунке 2б представлена зависимость нормированных значений НМ и критической частоты $F_{кр}$ волновода, полученная по данным узкополосных каналов анализатора А4–А14 с частотным разрешением 200 Гц. Параметры $F_{кр}$:

- диапазон значений критической частоты волновода $\Delta F_{кр} = (900...2400)$ Гц;
- длительность периода вариации $T_{кр} \approx (5...60)$ мин;
- максимальная крутизна вариации $\Delta F_{кр} / \Delta T \approx 300$ Гц/мин.

Надо отметить, что спектральные составляющие (см. рис. 2а) со значениями частот $F > 2400$ Гц являются вторыми гармониками ($n = 2$) основной моды $F_{кр}$;

$$F_{кр} \sim \frac{C}{2 \times h} \times n,$$

где h – высота ионосферы, n – номер моды [2, 3].

Режим поглощения сигнала

На рисунке 3 представлены суточные характеристики (24.01.2020, обс. ПГИ Ловозеро) ПА (см. рис. 3а), наборы нормированных амплитудно-временных характери-

стик Акузкополосных каналов (см. рис. 3б), вариации нейтронного монитора и магнитограмма поля Земли (см. рис. 3в).

Из синхронных записей АСПА и НМ (см. рис. 3) видно, что при спокойном магнитном поле ($\Delta H \approx 2\text{нТ}$) с увеличением длительности вариаций космических лучей с 3 до 12 мин и девиации амплитуды $\Delta A_{12\text{м}} \approx (187 - 181) = 6$ наблюдается кратковременное (1–2 ч) затухание сигнала ПА в диапазоне частот $\Delta F = (1350 - 3600)$ Гц. При этом девиация показаний нейтронного монитора длительностью $T_0 \approx 3$ мин уменьшилась в 3 раза: $\Delta A_{3\text{м}} \approx (191 - 181)/(183 - 180) \approx 3$.

Коэффициент передачи для каждой спектральной линии можно оценить по АЧХ ПА, полученных для трёх временных отсчётов (см. рис. 4).

Обсерватория ПГИ Баренцбург (арх. Шпицберген)

В связи с тем что авроральные обсерватории ПГИ имеют разное географическое местоположение, и физико-химические процессы, протекающие в околоземном пространстве, имеют разную степень солнечно-земных связей, то вполне очевидно, что АЧХ ПА отличаются. На рисунке 5 представлен пример трёхдневной (18.03–20.03.2020) синхронной записи спектров ПА, НМ [4] и магнитного поля Земли [6].

Белые полосы на сонограмме показывают отсутствие зарегистрированных данных в соответствующем промежутке времени. Анализируя вариации огибающей амплитуды узкополосных каналов Ак анализатора (см. рис. 5б), можно выделить три временные особенности.

1. Наблюдаются два повторяющихся во времени режима волновода с периодом $T \approx 24$ ч:

- 15:00–17:00, 18.03, и 18:00–19:00, 19.03 – узкополосное затухание сигнала на частоте $F = 3600$ Гц, длительность $\Delta T_3 \approx 1$ ч;
- с 17:00 18.03 до 08:00 19.03 и с 20:00 19.03 до 06:00 20.03 – режим поперечного резонанса для частот в диапазоне $\Delta F_3 \approx (2100...3300)$ Гц.

Приближённая формула для поперечного резонанса, зависящая от выбранной модели ионосферы:

$$F_n \sim \frac{C}{2 \times h} \times n,$$

где h – высота ионосферы, ($n \geq 1$) – номер моды волны. Коэффициент усиления для указанных частот в режиме поперечного резонанса составляет: $K_{y(3273\text{Гц})} = 1,9$;

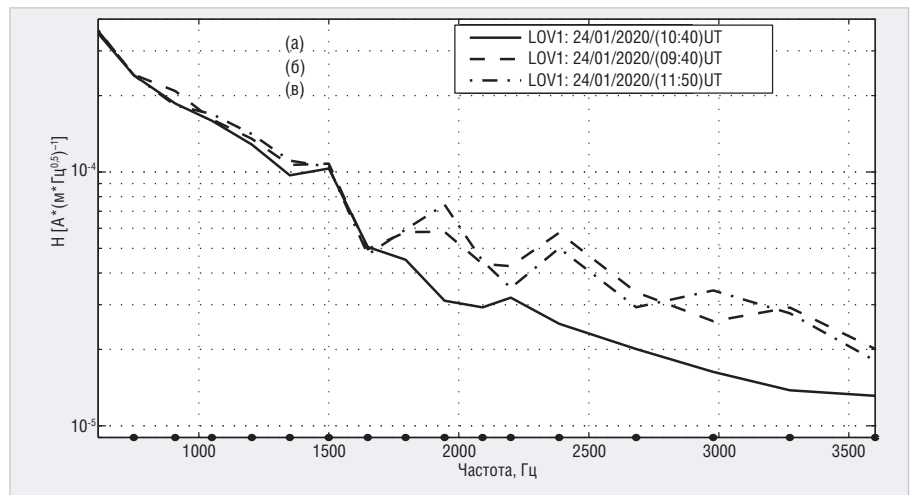


Рис. 4. АЧХ поля атмосфериков для трёх временных отсчётов (обс. ПГИ Ловозеро 24.01.2020):

а) режим затухания (10:40); б) до режима затухания (09:40); в) после режима затухания (11:50)

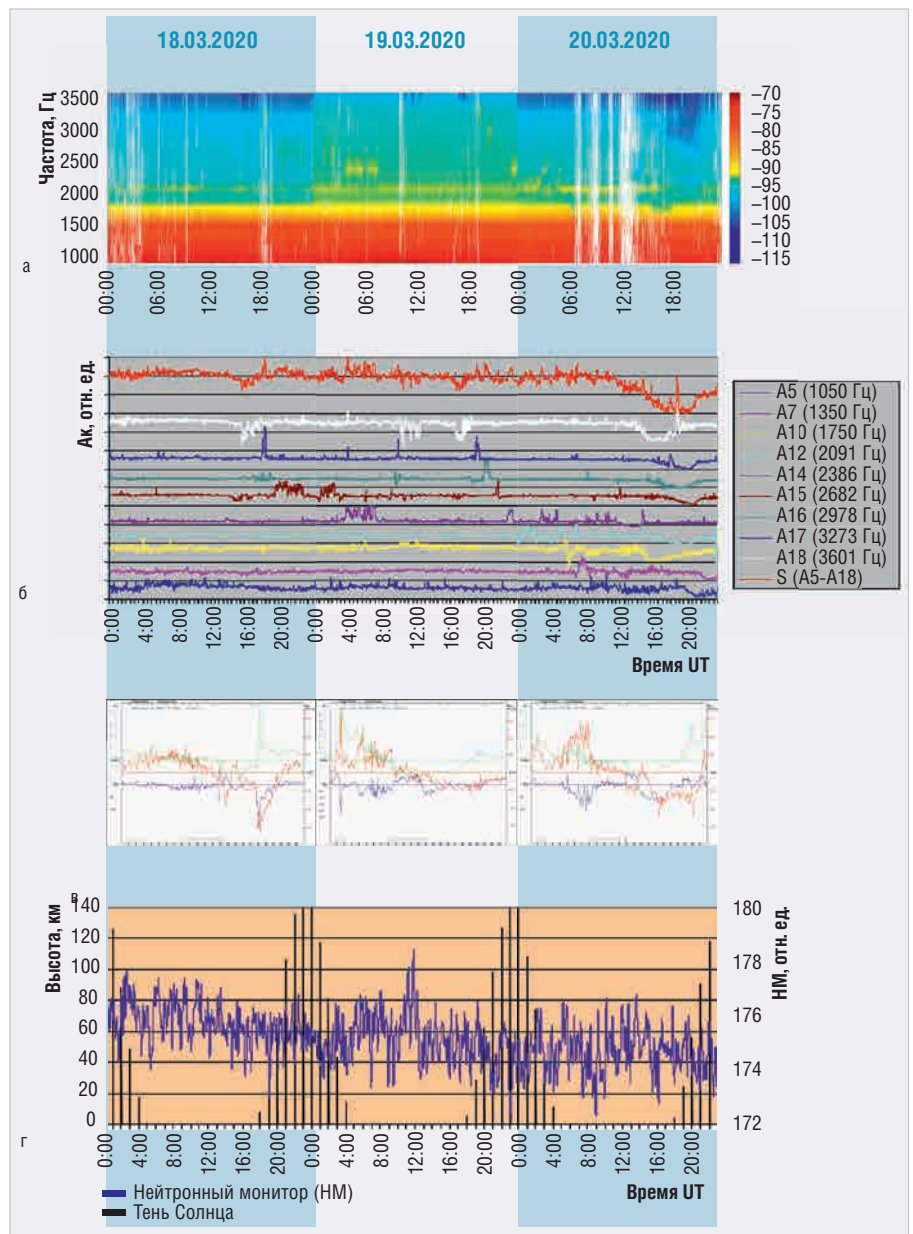


Рис. 5. Синхронная запись АЧХ ПА, НМ, магнитограммы геомагнитного поля (18–20).03.2020:

а) сонограмма поля атмосфериков (обс. ПГИ Баренцбург); б) амплитудно-временные характеристики каналов Ак анализатора (обс. ПГИ Баренцбург); в) магнитограмма геомагнитного поля (обс. Лонгьербюен, Норвегия, арх. Шпицберген); г) показания НМ (обс. ПГИ Баренцбург)

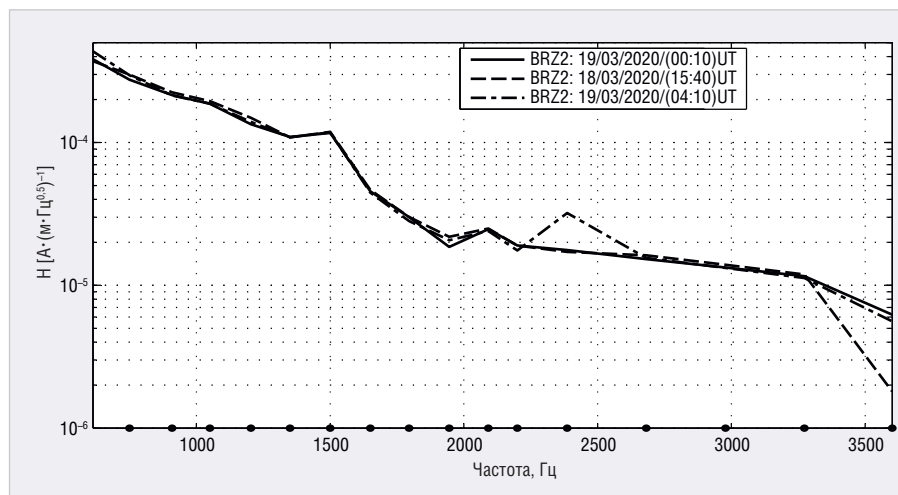


Рис. 6. АЧХ поля атмосфериков при различных геофизических условиях (18–19).03.2020, obs. ПГИ Баренцбург

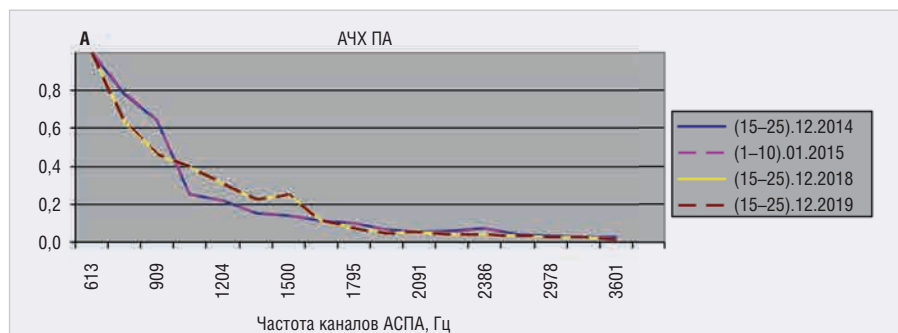


Рис. 7. Усреднённые АЧХ ПА в интервале времени 2014-2019 гг., obs. ПГИ Баренцбург

$K_{y(2978 \text{ Гц})} = 2,2$; $K_{y(2682 \text{ Гц})} = 1,7$; $K_{y(2386 \text{ Гц})} = 2$. Длительность режима затухания сигнала лежит в широких пределах $\Delta T_3 \approx (1...8)$ ч.

2. 09:00–17:00, 19.03 – длительность временного интервала между повторяющимися режимами составляет $T_{и} \approx 8$ ч и равна приблизительно длительности более спокойного магнитного поля – D-компоненты (см. рис. 5в).

3. 13:00–24:00, 20.03 – режим узкополосного затухания сигнала последовательно для частот: 2386, 1750, 3600, 3270, 2978, 2090, 2682, 1050, 1350 Гц. Коэффициент затухания сигнала: $K_{z(3601 \text{ Гц})} = 3,5$; $K_{z(3273 \text{ Гц})} = 1,9$; $K_{z(1750 \text{ Гц})} = 1,5$. Длительность процесса затухания на каждой частоте составляет $\Delta T_f \approx 2$ ч, а общая длительность режима затухания $T_{\Sigma} \approx 11$ ч.

На рисунке 6 приведены АЧХ ПА для всей полосы анализа $\Delta F = (600...3600)$ Гц при разных геофизических условиях, где отчетливо наблюдается как режим затухания сигнала, так и поперечный резонанс:

- 00:10, 19.03 – спокойные геофизические условия;
- 15:40, 18.03 – режим затухания сигнала на частоте 3601 Гц;

- 04:10, 19.03 – режим поперечного резонанса для частоты 2386 Гц.

Также следует отметить ещё два обстоятельства, относящихся к данному сеансу записи:

1. критическая частота волновода Земля–ионосфера не меняется и составляет 1500 Гц (см. рис. 6);
2. на отдельных временных отрезках наблюдается синхронность поведения амплитуды огибающей суммарного канала анализатора S (A5-A18) и магнитограммы (см. рис. 5б).

Сравнительный анализ усреднённых за несколько суток АЧХ ПА (см. рис. 7) позволяет получать информацию о медленно меняющихся физических процессах, влияющих на ионизацию ионосферы. Если выбрать периоды времени 15.12–25.12 и 01.01–10.01, когда ионосфера не освещена Солнцем и граница тени для Баренцбурга проходит на высоте 121 км, то в данном случае в качестве возможной причины вариации АЧХ можно рассматривать магнитное поле Земли, которое защищает планету от солнечной радиации и космического излучения.

На рисунке 7 представлены усреднённые за 10 суток АЧХ ПА за временной про-

межутков декабрь–январь 2014–2019 года, где заметны изменения характеристик за четырёхлетний период.

Заключение

Первичная обработка экспериментальных данных, полученных в двух авроральных обсерваториях ПГИ, показала следующее:

- использование анализатора спектра поля атмосфериков позволяет получить дополнительную информацию для изучения микропроцессов, происходящих на нижней границе ионосферы (вариации критической частоты волновода, поперечный резонанс и режим волноводного затухания сигнала);
- применение в качестве преобразователя электромагнитного поля в электрический сигнал магнитной рамочной антенны позволяет получать пространственную избирательность характеристик нижней границы волновода.

В связи с тем что современная технологическая цивилизация становится уязвимой перед событиями, связанными с солнечной активностью и её взаимодействием с магнитным полем Земли и ионосферой, активно изучаются возможности её прогнозирования.

При решении указанных задач целесообразно рассмотреть вопрос о включении анализатора спектра поля атмосфериков в состав наземной геофизической аппаратуры (куда обычно входят магнитометр, регистратор ОНЧ-излучений, ионосферное зондирование, радиотомография атмосферы).

Литература

1. Галахов А., Косолапенко В., Ларченко А., Пильгаев С. Анализатор спектра поля атмосфериков на реконфигурируемых ПАИС Anadigm. Современная электроника. 2019. № 7. С. 62–66.
2. Альперт Я. Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. М. Наука. 1972. С. 563.
3. Блюх П. В., Николаенко А. П., Филиппов Ю. Ф. Глобальные электромагнитные резонансы в полости Земли – ионосфера. Киев. Наук. Думка. 1977. С. 200.
4. ПГИ Апатиты Мурманская обл. URL: <http://pgia.ru/data/nm>.
5. Sodankylä Geophysical Observatory. URL: <https://www.sgo.fi/Data/Magnetometer/magnData.php>.
6. Magnetometer Longyearbyen (Tromso, Geophysical Observatory Norway). URL: <http://flux.phys.uit.no/>.

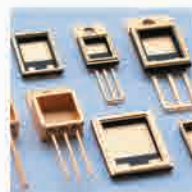
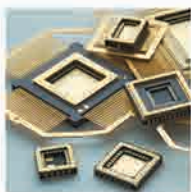
НАНЕСЕНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

из никеля (Ni) и золота (Au)

ТЕСТПРИБОР



Самый современный технологический процесс и многоступенчатый контроль качества гарантируют выполнение самых сложных запросов



НА ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПАНИИ «ТЕСТПРИБОР» ОСВОЕНЫ СЛЕДУЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ:

- электрохимическое никелирование из электролитов различных составов
- электрохимическое никелирование сплавом никель-фосфор
- химическое никелирование сплавами никель-фосфор, никель-бор
- электрохимическое золочение
- химическое и иммерсионное золочение
- «черный никель»