



УЧАЩЕЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ИОНОСФЕРЫ В ТЕЧЕНИЕ ГЕОМАГНИТНОЙ СУББУРИ 14.02.11 Г.

Д. В. Благовещенский

Использовались средства ВЗ и НЗИ в 5-ти минутном режиме работы. К данным средствам относятся высокоширотный ионозонд обс. Соданкюля и низкоширотный ионозонд о. Кипр (ВЗ), а также две радиотрассы НЗИ — Соданкюля–Горьковская и Кипр–Горьковская. Выявлены структурные особенности в ионосфере за период суббури по данным ВЗ Соданкюля: спорадические наклонные *Es*-слои, многослойность в *Es*-слоях, спорадический *spread F*, выраженные слои в диффузных *F*-образованиях, быстрые изменения значений *Es*МНЧ, многоскачковые *Es*-отражения сигналов. Обнаружено качественное сходство данных ВЗ Соданкюля и НЗИ на трассе Соданкюля–Горьковская. Зафиксирован «главный эффект в ионосфере» во время суббури по данным низкоширотного ионозонда.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ВЕРТИКАЛЬНОЕ И НАКЛОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ИОНОСФЕРЫ, КВ РАДИОТРАССЫ, МАГНИТНАЯ СУББУРЯ

1. ВВЕДЕНИЕ

Известно, что во время магнитных возмущений типа бурь или суббурь происходят быстро переменчивые процессы в ионосфере, особенно в высоких широтах. В полярных и приполярных районах магнитные бури и суббури проявляются в первую очередь и наиболее ярко. Поэтому изучать эффекты в ионосфере высоких широт представляет значительный интерес. К сожалению, на высоких широтах, во-первых, станций вертикального зондирования (ВЗ) немного и, во-вторых, стандартная сеть ВЗ ионосферы не позволяет выявить и отразить с большой точностью процессы в ионосфере, поскольку сеансы зондирования в стандартном режиме происходят один раз в 15 мин. За это время может случиться очень большое количество явлений существенно различного характера. Поэтому представляет интерес изучать процессы в ионосфере в режиме быстрого зондирования, например, через каждые 5 мин, а не каждые 15 мин. К тому же известно, что во время интенсивных бурь и суббурь на высоких широтах образуются обширные области с высоким уровнем поглощения радиоволн. Однако метод наклонного зондирования ионосферы (НЗИ) позволяет значительно снизить влияние поглощения на радиосигналы. К тому же ионосферные станции ВЗ (ионозонды) имеются далеко не везде и в местах отсутствия станций ВЗ удобно использовать возможности НЗИ [1].

В настоящем исследовании ставится задача комплексно изучить наиболее характерные процессы и явления в ионосфере во время интенсивной магнитной суббури, имевшей место 14 февраля 2011 г. Используются данные ВЗ ионосферы обс. Соданкюля (Финляндия) и Никозии (Кипр), а также данные НЗИ на двух КВ радиотрассах Соданкюля–Горьковская (возле Санкт-Петербурга) и Горьковская–Кипр. Особое значение здесь будут иметь пятиминутные ионограммы НЗИ на трассе Соданкюля–Горьковская и пятиминутные ионограммы ВЗ Соданкюля. Эта обсерватория расположена в уникальном месте — на геомагнитной широте $64,2^\circ$, близкой к широте 65° , где, как известно, в первую очередь проявляются магнитные возмущения типа бурь и суббурь [2].

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

В настоящей работе использовались ионограммы ВЗ ионосферы обл. Соданкюля и Кипра, а также ионограммы НЗИ на двух радиотрассах Соданкюля – Горьковская длиной 800 км и Горьковская – Кипр длиной 2900 км. Область отражения сигнала на первой трассе находится на расстоянии порядка 400 км к югу от Соданкюля. Область отражения на второй трассе находится существенно к югу от Соданкюля и составляет $800 + 2900/2 = 2250$ км. Это как раз над Кишиневом. Линия, соединяющая все три области, проходит преимущественно в южном направлении с небольшим отклонением к востоку на юге. Таким образом, мы имеем три области, где можно оценить состояние отраженных сигналов от ионосферы: одна в полярных широтах, точнее в авроральной зоне, другая в субавроральной зоне и третья в средних широтах. Сравнение характера отражений сигналов ВЗ и НЗИ в указанных областях будет произведено на качественном уровне. А именно, будет выявлено, проявляется или нет тот или иной рассматриваемый специфический эффект, вызванный геомагнитным возмущением, в одно и то же время в разных точках одновременно, поскольку аппаратура ВЗ и НЗИ работала синхронно с интервалом в 5 мин. Примеры ионограмм ВЗ и НЗИ можно видеть на рисунках ниже.

3. ПАРАМЕТРЫ МАГНИТНОЙ СУББУРИ

Исследовался один день 14 февраля 2011 г., где в конце дня имела место достаточно интенсивная суббурия. На рисунке 1 представлены ее параметры. Верхняя панель (а) показывает вариации X -компоненты магнитного поля, записанные магнетометром в Соданкюле. Видно, что на почти абсолютно спокойном фоне утром и днем возникло интенсивное возмущение. Время появления – предполуденное, длительность суббурии порядка 3 ч, интенсивность в максимуме с 21:00 до 22:00 UT равна -700 нТл. На второй панели (б) показан уровень поглощения A по риометру ($f = 30$ МГц) в Соданкюле. Максимальное значение поглощения, как можно видеть, также соответствует периоду с 21:00 до 22:00 UT, где $A = 1,5$ дБ. Этим двум максимумам в X компоненте и поглощению A соответствует тем не менее сравнительно невысокое максимальное значение индекса $D_{st} = -35$ нТл. Следовательно, эффекты суббурии были в основном сосредоточены в высоких широтах. Данное обстоятельство подтверждает третья панель (в), где представлены вариации AE -индекса. Из нее можно видеть, что суббурия имела продолжительность с 18:30 до 23:00 UT и состояла из двух максимумов в 19:00 – 20:00 и 21:00 – 22:00 UT. Эти два максимума в AE соответствуют максимумам поглощения на второй панели. Самое большое значение AE в промежутке от 18:30 до 23:00 UT составляет 1200 нТл, что можно считать высоким. Данная величина характеризует интенсивное возмущение именно для высоких широт в соответствии с определением AE -индекса. В нижней части рисунка 1 на панели (г) показаны значения Kp – индекса. Видно, что утром и днем геомагнитная возмущенность практически отсутствует и лишь с 15:00 UT она начинает возрастать, достигая значения $Kp = 5+$ с 21:00 до 24:00 UT.

4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Прежде всего обратим внимание на общий ход вариаций сигналов на ионограммах ВЗ и НЗИ в процессе развития суббурии. Рисунок 2 а,б иллюстрирует последовательность ионограмм с 16:00 UT до 23:00 UT через каждый час так, чтобы охватить предвозмущенный период, само возмущение и окончание возмущения (суббурия). В первом ряду по вертикали представлены данные ВЗ Соданкюля. Соответственно во втором и третьем ряду показаны ионограммы НЗИ для трассы Соданкюль–Горьковская и Кипр–Горьковская.

1.1. Представляет интерес начать анализ событий во времени по данным ионограмм ВЗ, как наиболее информативных, за 14 февраля 2011 г. Здесь имеем следующее. До 16:00 UT (начала суббурии по AE -индексу) никаких особенностей за счет возмущения в ионограммах не наблюдалось. Но с 16:00 UT и до 17:20 UT возникает диффузность отражений от слоя $F2$ в отраженных сигналах и спорадический E_s слой. Пример для 16:00 UT можно видеть на рис. 2 а (верхняя панель (а), слева). С 17:20 UT и до 18:50 UT появляются диффузные спорадические слои E_s , пример на ионограмме ВЗ в 18:00 UT. Затем с 19:00 UT $F2$ -отражения исчезают и появляются отражения от плоских (не

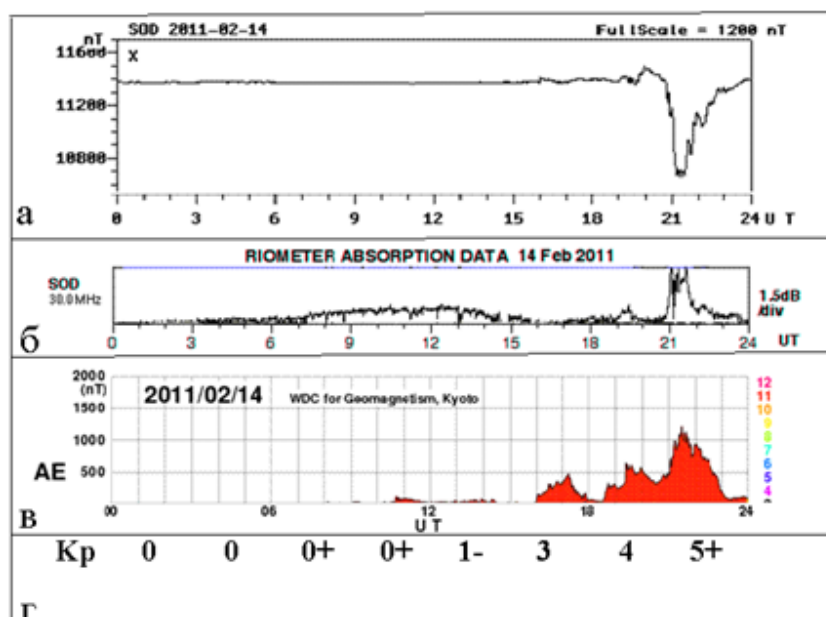


Рис. 1. Данные вариаций геомагнитных индексов X (а), AE (в) и Kp (г), а также поглощения по риометру обс. Соданкюля (б) за период суббури 14 февраля 2011 г.

диффузных) спорадических Es -слоев с групповым запаздыванием на конце. Это свидетельствует о том, что эти слои достаточно толстые. Пример показан на ионограмме в 19:00 UT. С 19:40 UT наблюдается мощная диффузность в слое $F2$ и интенсивные слои Es , пример на рис. 2 б для ионограммы ВЗ в 20:00 UT. С 21:00 до 21:50 UT имеет место полное поглощение отраженных сигналов на ионограммах (пример ионограммы в 21:00 UT) в соответствии с данными по поглощению на рис. 1. Далее, начиная с 21:50 UT снова возникают интенсивные слои Es с групповым запаздыванием на конце, пример ионограммы в 22:00 UT. С 23:00 UT к отражениям от спорадических Es слоев добавляются вновь $F2$ -отражения сигналов (нижняя ионограмма).

1.2. Перейдем теперь к анализу ионограмм НЗИ на трассе Соданкюля-Горьковская. Результаты исследования показывают следующее. С 16:00 до 17:15 UT наблюдаются 3 луча, отраженных от слоя $F2$ – односкачковое, двухскачковое и трехскачковое. Имеет место небольшая диффузность верхних лучей. Присутствует также отражение от спорадического слоя Es , на рис. 2 а – две верхних ионограммы для 16:00 и 17:00 UT. В 17:15 UT наблюдается два $F2$ -луча плюс Es -отражение. С 17:20 до 18:45 UT имеет место уже один $F2$ -луч (диффузный) и Es -отражение, ионограмма для 18:00 UT. С 18:50 UT остаются только Es -отражения, ионограмма для 19:00 UT. Далее с 19:10 до 21:30 UT наблюдаются мощные Es -отражения с одним и двумя скачками, ионограммы для 20:00 и 21:00 UT. Ионограмма в 21:45 UT демонстрирует полное поглощение сигналов (их отсутствие) в соответствии с рис. 1. С 22:00 UT наблюдаются Es -отражения и иногда $F2$ -отражения, ионограммы на рис. 2 б для 22:00 и 23:00 UT. С 23:10 UT и до конца дня появляются уже стабильно $F2$ -отражения и затем с 23:40 UT до конца дня пропадают Es -отражения.

1.3. Рассмотрим в заключение ионограммы НЗИ на трассе Горьковская-Кипр. Точка отражения этой трассы, как указывалось выше, находится над г. Кишинев и эффекты суббури на этой среднеширотной трассе, как показывает анализ, иные, чем на трассе Соданкюля-Горьковская. А именно, с 16:00 до 16:55 UT на ионограммах наблюдаются 3 отражения – соответственно односкачковое, двухскачковое и трехскачковое, пример на ионограмме в 16:00 UT, рис. 2 а. Далее с 17:00 до 18:15 UT остаются только 2 отражения – односкачковое и двухскачковое, см. ионограммы в 17:00 и 18:00 UT. С 18:20 UT и до конца дня имеет место только односкачковое отражение. При этом значения $F2M\text{HЧ}$ с 16:00 до 19:20 UT падают с 16 до 13 МГц. Однако с 19:25 до 20:15 UT происходит рост $F2M\text{HЧ}$ до 14 МГц (см. ионограмму в 20:00 UT). В этом интервале проявляется эффект суббури, поскольку в нормальных условиях этого быть не должно. Данный интервал соответствует второму максимуму в AE -индексе ($AE > 500$ нТл) на рис. 1. С 20:20 UT происходит спад $F2M\text{HЧ}$ до конца дня, как можно видеть из ионограмм в 21:00, 22:00 и 23:00 UT на рис. 2 б. Эффекта поглощения сигналов в промежутке с 21:00 до 22:00 UT (рис. 1) здесь не наблюдается.

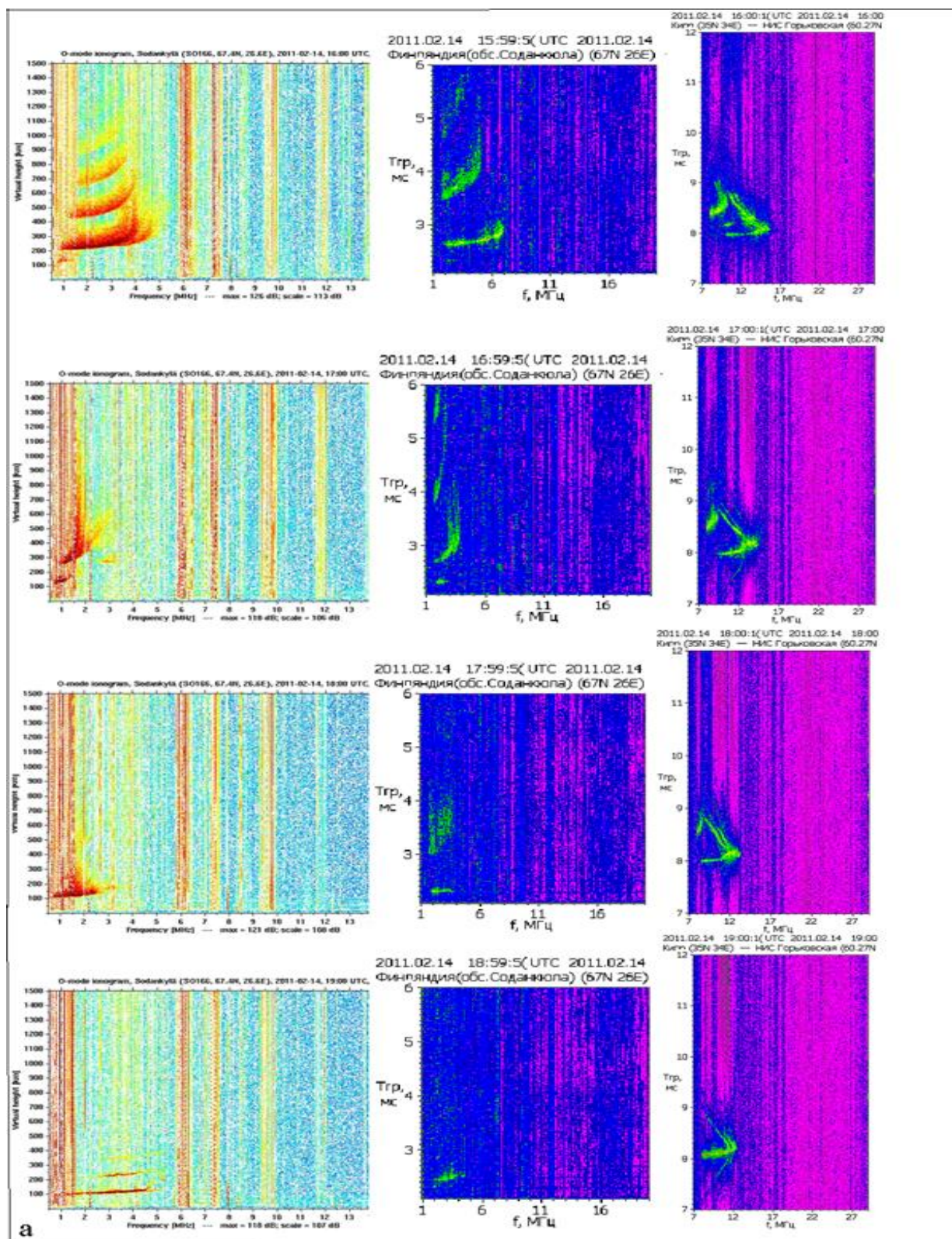


Рис. 2а. Последовательность ионограмм ВЗ по обс. Соданкюля (первый столбец), НЗИ на радиотрассе Соданкюля – Горьковская (второй столбец) и НЗИ на радиотрассе Кипр – Горьковская (третий столбец) за 14.02.2011 г. с 16:00 по 19:00 UT.

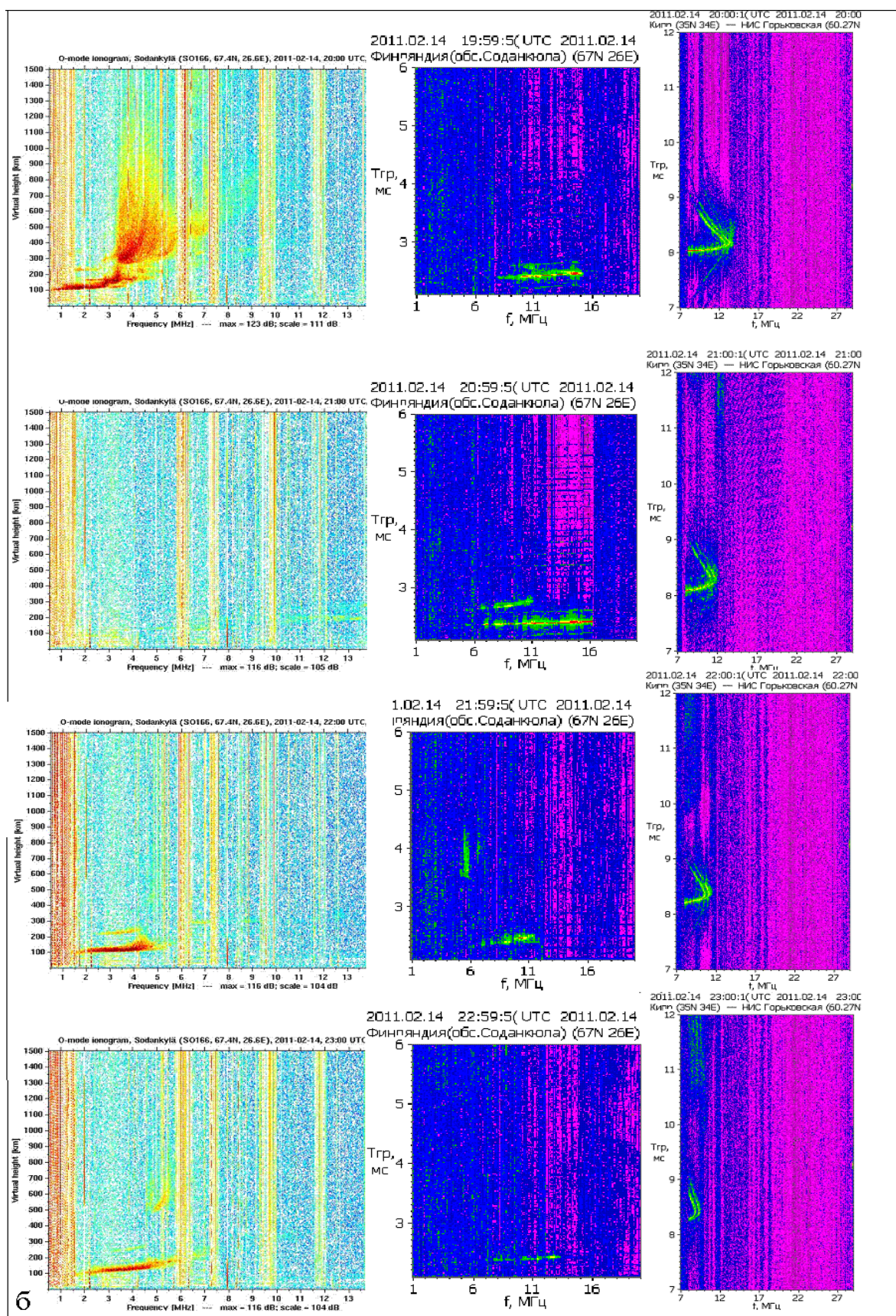


Рис. 26. Последовательность ионограмм ВЗ по обс. Соданкюля (первый столбец), НЗИ на радиотрассе Соданкюля – Горьковская (второй столбец) и НЗИ на радиотрассе Кипр – Горьковская (третий столбец) за 14.02.2011 г. с 20:00 по 23:00 UT.

Представляет интерес на качественном уровне сравнить за период суббури характер отражений на ионограммах ВЗ и НЗИ на рис. 2 а,б в один и тот же момент времени (по горизонтали). Рассмотрим кратко каждые три ионограммы на рис. 2 сверху вниз. Для удобства изложения ионограммы обозначены цифрами: Соданкюля – 1, Сод – ГРК – 2 и ГРК–Кипр – 3.

16:00UT. 1 – Отражения $1Es, 1F2, 2F2, 3F2, 4F2$ все диффузные. 2 – $1Es, 1F2, 2F2, 3F2$ все диффузные. 3 – $1F2, 2F2$.

17:00UT. 1– Отражения $1Es, 1F2$ все диффузные. 2 - $1Es, 1F2, 2F2, 3F2$ все диффузные. 3 - $1F2, 2F2$.

18:00UT. 1 – Отражение $1Es$ диффузное. 2 – $1Es, 1F2$ диффузное. 3 – $1F2, 2F2$.

19:00UT. 1 – Отражения $1Es, 2Es, 3Es$ все плоские. 2 – $1Es$ диффузный. 2 – $1F2$.

20:00UT. 1 – Многоскачковые Es , диффузность в $F2$ -слое. 2 – $1Es, 2Es$. 3 – $1F2$.

21:00UT. 1 – Полное поглощение сигналов. 2 – $1Es, 2Es$. 3 – $1F2$.

22:00UT. 1 – Отражения $1Es, 2Es$. 2 – $1Es$. 3 – $1F2$.

23:00UT. 1 - Отражения $1Es, 1F2$. 2 - $1Es$. 3 – $1F2$.

Таким образом, можно видеть качественное сходство данных ВЗ Соданкюли и НЗИ на трассе Соданкюля – Горьковская. Как указывалось выше, расстояние между Соданкюлей и точкой отражения трассы Соданкюля – Горьковская составляет 400 км. Тем самым процессы в ионосфере во время суббури качественно близки в пределах 400 км. Зато имеет место отличие указанных данных ВЗ и НЗИ от данных НЗИ на трассе Горьковская – Кипр. Это, вообще говоря, следовало ожидать исходя из геометрии пунктов прямо-передачи.

2. Перейдем к анализу ионограмм с пятиминутными интервалами между ними. Здесь интересно знать тонкий характер быстрой динамики ионосферы в пределах 5–10 мин во время суббури и особенности этой динамики.

2.1. Представляет интерес сначала рассмотреть данные ионозонда. На рисунке 3 приведены ионограммы по Соданкюле для специфических отражений сигналов и их вариаций. Исходя из всей совокупности данных, наиболее аномальные отражения имели место в пяти случаях за время геомагнитного возмущения. 1) С 19:30 до 19:40 UT, 2) С 19:45 до 19:55 UT, 3) С 20:45 до 20:55 UT, 4) С 22:15 до 22:25 UT и 5) С 23:40 до 23:50 UT. Все пять указанных сеансов представлены на рис. 3 последовательно сверху вниз. Из них прежде всего следует, что характер отражений на ионограммах быстро изменяется в пределах 5–10 мин. Так, из панели (а) на рис. 3 видно появление наклонного спорадического слоя Es (6,5 – 9,5 МГц) в 19:35 UT и на следующей ионограмме – области диффузности (6 – 7,5 МГц). Панель (б) демонстрирует существенные изменения характера отражений в области диффузности (4 – 7,5 МГц). Панель (в) показывает кратковременное возникновение мощных спорадических слоев Es и вариации облаков диффузности. Панель (г) демонстрирует вариации многослойных отражений в области Es . Из пятой панели (д) (в середине) видно кратковременное появление $spread F$ (6,5 – 8,5 МГц). Следует подчеркнуть, что рассмотренные здесь отражения во время суббури существенно отличаются от аномальных отражений (плоских, слоистых, диффузных, смешанных), полученных по данным сети отечественных станций ВЗ в средних широтах [3].

2.2. Рассмотрим ситуацию по данным НЗИ на трассе Соданкюля – Горьковская. Рисунок 4 показывает примеры ионограмм за те же самые интервалы, что и по Соданкюле. Здесь за 5–10 мин также имеют место вариации в характере отражений сигналов, но не такие существенные как по Соданкюле. Так из панели (а) видно возникновение наклонного Es в 19:35UT и рост $EsMНЧ$ с 11 до 15 МГц за 5 мин. Панель (б) демонстрирует мощные Es -отражения без диффузности. На панели (в) можно видеть также мощные Es -отражения, но с диффузностью в $F2$ -слое. Из панели (г) видны изменения в значениях $EsMНЧ$ за несколько минут. На последней панели (д) отражения от Es -слоя отсутствуют, а имеются только $F2$ -отражения.

2.3. Сравним данные ВЗ на рис. 3 и данные НЗИ на рис. 4. Здесь целесообразно выделить элементы сходства и отличий.

Из первой панели (а) обоих рисунков видно наличие отражений от спорадических слоев Es . Причем на средних ионограммах панели имеет место наклонный Es . В этом сходство. С другой стороны диффузность от слоя $F2$ на правой ионограмме ВЗ отсутствует на такой же ионограмме НЗИ. В этом отличие.



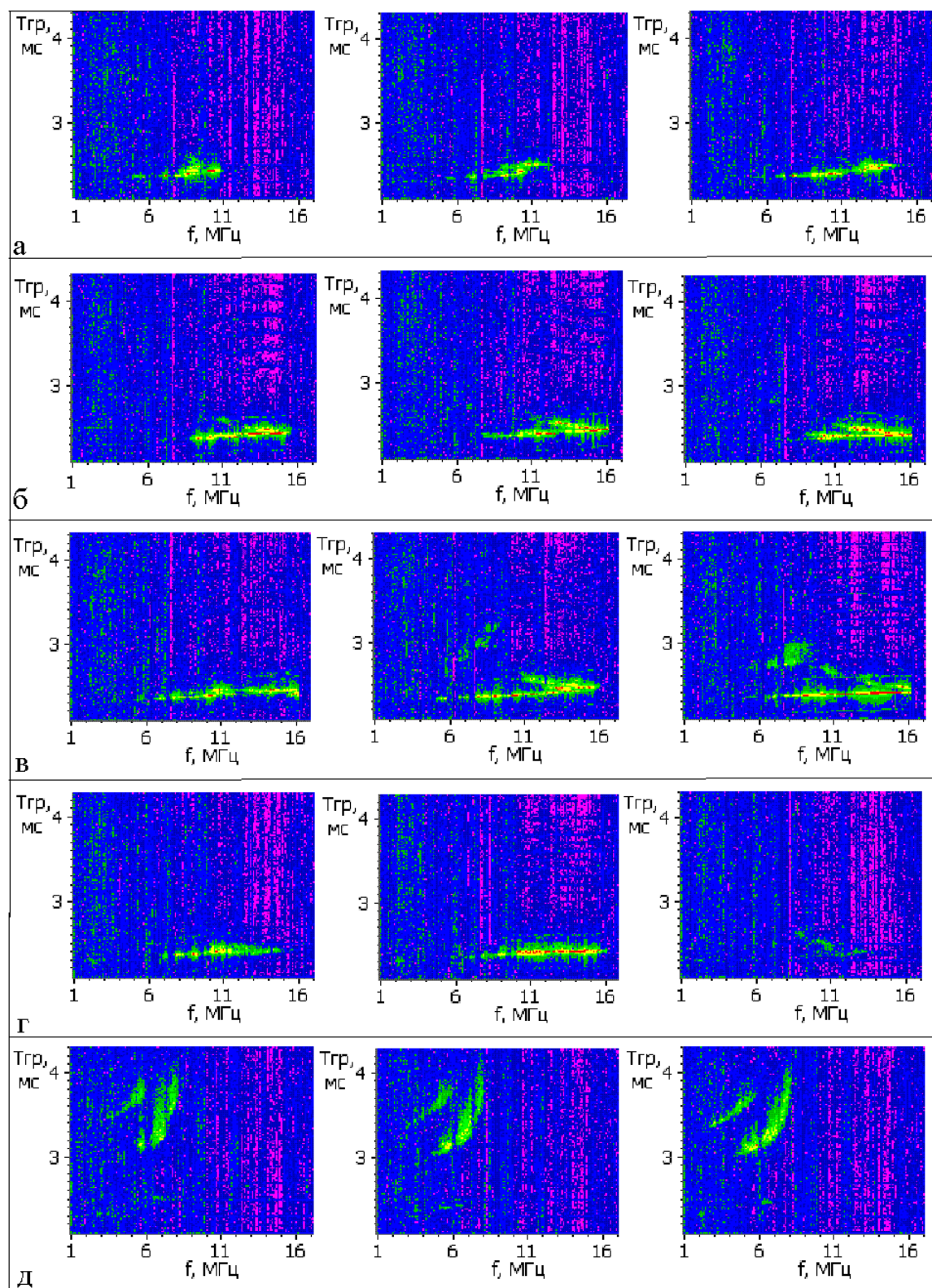


Рис. 4. Ионограммы НЗИ по радиотрассе Соданкюля – Горьковская, соответствующие ионограммам ВЗ на рис.3.

Вторая панель (б) показывает наличие мощных отражений от слоя E_s как по данным ВЗ так и НЗИ. Но данные ВЗ демонстрируют диффузность по слою F_2 , тогда как по данным НЗИ она отсутствует.

Из третьей панели (в) можно видеть наличие отражений от интенсивных *Es*-слоев на всех ионограммах. Но *F2*-диффузность по всем данным ВЗ проявляется только на двух последних ионограммах НЗИ.

На четвертой панели (г) видны *Es*-отражения как по данным ВЗ так и по данным НЗИ. Хотя структура этих отражений на ионограммах ВЗ несколько иная, чем на ионограммах НЗИ. Пятая панель (д) (конец возмущения) показывает существенные отличия в характере отражений на ионограммах ВЗ и НЗИ. Если на первых фиксируются преимущественно мощные *Es*-отражения, то на вторых – *F2*-отражения и крайне слабые *Es*-отражения.

Таким образом, здесь общий вывод следующий. Характер отражений сигналов на ионограммах ВЗ и НЗ во время магнитного возмущения в большинстве случаев близок на качественном уровне. Имеются отличия, которые, видимо, объясняются территориальным разномом между точками отражения ВЗ и НЗИ в 400 км.

3. В силу существенного удаления точки отражения трассы Горьковская – Кипр (Кишинев) от точки отражения трассы Соданкюля – Горьковская и от ионозонда Соданкюля процессы в ионосфере над Кишиновом должны заметно отличаться от первых двух (см. рис. 2), поскольку они характерны для средних широт. Данные ионозонда Соданкюля, расположенного на широте несколько больше 60° , естественно также существенно отличаются от данных ионозонда Кипра, расположенного на широте 35° . Пример сравнения двух ионограмм для 22:00 UT по обс. Соданкюля и по ст. Кипр можно видеть из рис. 2 и рис. 5а. Из рисунка 2 следует, что во время суббури в 22:00 UT на ионограмме Соданкюля имеет место только отражение от толстого спорадического слоя *Es* с групповым запаздыванием. Тогда как в это же время на ионограмме Кипра наблюдаются только первое и второе отражения по слою *F2*. Здесь эффект суббури тем не менее проявляется в наличии небольшой диффузности в сигналах на восходящих ветвях ионограммы Кипра.

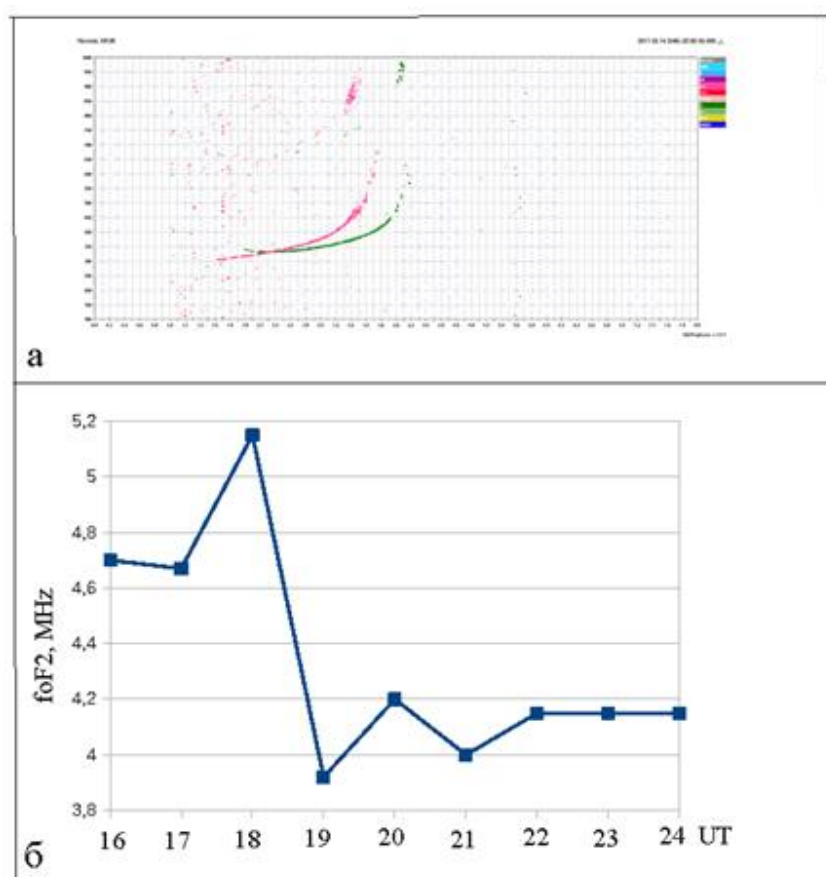


Рис. 5. Ионограмма по ст. Кипр с диффузностью (а) и проявления главного эффекта. в ионосфере во время суббури по ст. Кипр (б).

Особого внимания заслуживает экспериментальный факт, который был зафиксирован по Кипру в поведении критической частоты $foF2$ на ионограммах с 17:00 до 22:00 UT на рис. 5б. Это так

называемый «главный эффект (ГЭ) в ионосфере во время суббури». В общем случае для классической суббури он заключается в следующем [4]. Значения $foF2$ за 6–8 ч до момента T_o (начало взрывной фазы суббури) растут выше спокойного уровня, достигая максимума за 2–3 ч до T_o . Затем к моменту T_o происходит резкий спад значений $foF2$ до минимума, ниже спокойного уровня, и далее их подъем за время протекания взрывной фазы. Второй максимум имеет место через 1–2 ч после момента T_e (момент окончания взрывной фазы). Далее снова происходит спад значений $foF2$ до спокойного уровня в течение 3–4 ч после второго максимума. В нашем случае $T_o = 20:30UT$. Максимум $foF2$ имеет место в 18:00 UT, то есть за 2,5 ч до T_o . Затем происходит резкий спад значений $foF2$ к 19:00 UT, то есть процесс идет в соответствии с поведением ГЭ. Второй максимум, однако, здесь не совсем выражен, поскольку суббуря носит не классический характер с одним максимумом AE -индекса, а состоит из двух – в 19:30 и 21:30 UT. Тем не менее, в рассматриваемом случае на начальной фазе суббури имеет место ГЭ с отчетливым максимумом $foF2$ перед началом суббури.

5. ВЫВОДЫ

Полученные результаты проведенных исследований сводятся к следующим:

1. Обнаружены быстропротекающие процессы (в пределах 5–10 мин) в высокоширотной ионосфере во время интенсивной геомагнитной суббури по данным ВЗ Соданкюли. К ним относятся основные 6 эффектов: спорадические наклонные Es -слои, многослойность в Es -слоях, спорадический spread F , выраженные слои в диффузных F -образованиях, быстрые изменения значений Es МНЧ, многоскачковые Es -отражения сигналов. Выявленные здесь отражения во время суббури существенно отличаются от аномальных отражений (плоских, слоистых, диффузных, смешанных), полученных по данным сети станций ВЗ в средних широтах.

2. Наиболее устойчивыми во время суббури являются спорадические Es -слои, которые существуют более длительное время, чем 10 мин, как в виде толстых (с групповым запаздыванием), так и в виде тонких без запаздывания. Мощные по интенсивности сигнала отражения имеют место во время максимума суббури. Однако высокая степень поглощения в это время приводит к полному исчезновению отраженных сигналов на ионограммах ВЗ и НЗИ трассы Соданкюля – Горьковская. Другим регулярным эффектом во время суббури можно считать диффузность в $F2$ -слое ионосферы.

3. Ионограммы ВЗ и НЗИ при их сравнении показывают следующее.

Обнаружено качественное сходство данных ВЗ Соданкюли и НЗИ на трассе Соданкюля – Горьковская. Здесь расстояние между Соданкюлей и точкой отражения трассы Соданкюля – Горьковская составляет 400 км в южном направлении. Тем самым процессы в ионосфере во время суббури качественно близки в пределах 400 км. Зато имеет место отличие указанных данных ВЗ и НЗИ от данных НЗИ на трассе Кипр–Горьковская. Исходя из геометрии пунктов приема-передачи расстояние между точкой отражения ионозонда Соданкюли и точкой отражения трассы Кипр–Горьковская (г. Кишинев) составляет 2250 км. Здесь даже качественное сходство процессов в ионосфере во время суббури не наблюдается, хотя суббуря вызывает кратковременное повышение N_e в области ионосферы над г. Кишинев.

4. На ионозонде Кипра был зафиксирован так называемый главный эффект (ГЭ) в ионосфере во время суббури. Он наблюдался в поведении критических частот $foF2$ на ионограммах. Данный результат является несколько необычным, поскольку ГЭ в максимальной степени обычно проявляется на широтах $45 - 60^\circ$ северной широты.

Автор выражает благодарность службам обс. Соданкюли за возможность использования их геофизических данных в Интернете и Рогову Д. Д. за предоставление данных ВЗ и НЗИ ионосферы ААНИИ. Особая благодарность – Кристине Ойкономоу (Christina Oikonomou) за предоставление ионограмм Кипра (Никозия).

Настоящая работа поддержана грантом РФФИ №18-05-00343.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hunsucker R. D., Hargreaves J. K. The high-latitude ionosphere and its effects on radio propagation. - Cambridge University Press. — 2003. — 617 p.
2. Lyons L.R. Substorms: Fundamental observational features, distinction from other disturbances, and external triggering // J. Geophys. Res. — 1996. — V.101. — P. 13011.
3. Гивишвили Г. В., Лещенко Л. Н. Пространственно-временные характеристики аномальных отражений от ионосферы // Геомагнетизм и аэрномия. — 2017. — №4. — С. 472-480.
4. Blagoveshchensky D. V., Sergeeva M. A., Kozlovsky A. V. Ionospheric parameters as the precursors of disturbed geomagnetic conditions // Advances in Space Research. — 2017. — V. 60, Issue 11, — PP. 2437-2451.

MORE FREQUENT SOUNDING OF THE IONOSPHERE DURING THE GEOMAGNETIC SUBSTORM OF 14.02.11

D. V. Blagoveshchensky

There were used facilities of VS and OIS in the five-minute regime of work. These facilities include the high latitude ionosonde of obs. Sodankyla and low latitude ionosonde of isl. Cyprus (VS) and also two OIS radio paths Sodankyla-Gorkovskaya and Cyprus-Gorkovskaya. Structure peculiarities of the ionosphere were revealed during substorm by data of Sodankyla VS: sporadic inclined Es-layer, multi-layer Es, sporadic spread F, pronounced layers in diffuse F-formations, rapid variations of EsMOF values, multi-hop Es-reflections of signals. A qualitative similarity of Sodankyla VS data and OIS data on the Sodankyla-Gorkovskaya path was revealed. The “main effect in the ionosphere” by low latitude ionosonde data was fixed.

KEY WORDS: VERTICAL AND OBLIQUE IONOSPHERIC SOUNDING, HF RADIO PATH, GEOMAGNETIC SUBSTORM