

Распределение по высоте ионов с относительно малой концентрацией важно для объяснения осн. особенностей процессов, протекающих в И. Так, в области ионизационно-рекомбинац. равновесия (ниже 200 км) доля первичных ионов  $N_2^+$  и  $O^+$  уменьшается с уменьшением высоты, свидетельствуя об усилении ионно-молекулярных реакций из-за роста плотности атмосферы. Выше 200—300 км доля ионов  $N^+$  лишь немного возрастает по сравнению с  $O^+$ , а концентрации ионов  $H^+$  и  $He^+$  обладают максимумами вблизи области высот, где концентрации ионов  $O^+$  и  $H^+$  становятся равными (рис. 4), что обусловлено распределением этих ионов по *барометрической формуле*. Этим же обусловлено аналогичное распределение с максимумом для двукратно ионизованных ионов  $He^{++}$  и  $O^{++}$ . В ниж. части области  $E$  на высотах 90—95 км часто образуется максимум  $E_s$  (рис. 2) ионов металлов  $Mg^+$ ,  $Fe^+$  с примесью  $Si^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^+$ ,  $Al^+$  и  $Ni^+$  (их происхождение связывают с дроблением метеоров на этих высотах). Меньшая концентрация ионов металлов наблюдается в вечернее время на разл. высотах вплоть до 500—600 км; она особенно возрастает вблизи геомагн. экватора, что свидетельствует об особых условиях движений и перемешивания в И.

Характеристики ионосферных слоёв. Закономерности изменения параметров И. — степени ионизации или  $n_e$ , ионного состава и эффективного коэф. рекомбинации различны в разных областях И.; это обусловлено в первую очередь значит. изменением по высоте концентрации и состава нейтральных частиц верх. атмосферы.

В области  $D$  наблюдаются наиб. низкие  $n_e < 10^8$  см<sup>-3</sup> (рис. 2). В этой области И. из-за высокой концентрации молекул, а следовательно, и высокой частоты столкновения с ними электронов происходит наиб. сильное поглощение радиоволн, что иногда приводит к прекращению радиосвязи. Здесь же, как в волноводе, распространяются длинные и сверхдлинные радиоволны. От всей остальной части И. область  $D$  отличается тем, что наряду с положит. ионами в ней наблюдаются отрицат. ионы, к-рые определяют мн. свойства области  $D$ . Первоначально отрицат. ионы образуются в результате тройных столкновений электронов с нейтральными молекулами  $O_2$ . Ниже 70—80 км концентрация молекул и число таких столкновений настолько возрастают, что отрицат. ионов становится больше, чем электронов. Уничтожаются отрицат. ионы при взаимной нейтрализации с положит. ионами. Т. к. этот процесс очень быстрый, то именно им объясняется довольно высокой эффективный коэф. рекомбинации  $\alpha'$ , к-рый наблюдается в области  $D$  (табл.).

При переходе от дня к ночи в области  $D$  концентрация электронов  $n_e$  резко уменьшается и соответственно уменьшается поглощение радиоволн, поэтому раньше считали, что ночью слой  $D$  исчезает. В момент солнечных вспышек на освещённой Солнцем земной поверхности сильно возрастает интенсивность рентг. излучения, увеличивая ионизацию области  $D$ , что приводит к увеличению поглощения радиоволн, а иногда даже к полному прекращению радиосвязи — т. н. внезапное ионосферное возмущение (Дел и д ж е р а э ф ф е к т). Продолжительность заметных возмущений обычно 0,3—1,5 ч. Более длительные и более значит. поглощения бывают на высоких широтах (т. н. поглощения в полярной шапке, ППШ). Повыш. концентрация  $n_e$  тут вызывается солнечными космич. лучами (в основном протонами с энергией в неск. МэВ), к-рые способны проникнуть в атмосферу только в районе геомагн. полюсов (полярных шапок), где магн. силовые линии не замкнуты. Длительность явлений ППШ достигает иногда неск. дней.

Область И. на высотах 100—200 км, включающая слои  $E$  и  $F_1$ , отличается наиб. регулярными изменениями. Это обусловлено тем, что именно здесь поглощается осн. часть коротковолнового ионизирующего излучения Солнца. Теория ионизационно-рекомбинац. равновесия, уточняющая теорию простого слоя ионизации, хорошо

объясняет все регулярные изменения  $n_e$  и ионного состава в течение дня и в зависимости от уровня солнечной активности. Ночью из-за отсутствия источников ионизации в области 125—160 км величина  $n_e$  сильно уменьшается, однако в области  $E$  на высотах 100—120 км обычно сохраняется довольно высокая  $n_e = (3-30) \times 10^8$  см<sup>-3</sup>. О природе источника ночной ионизации в области  $E$  мнения расходятся.

На высотах областей  $D$  и  $E$  иногда наблюдают кратковременные, необычайно узкие слои повыш. ионизации (т. н. с и о р а д и ч е с к и е с л о и  $E_s$ ), состоящие часто из ионов металлов  $Mg^+$ ,  $Fe^+$ ,  $Ca^+$  и др. За счёт  $E_s$  возможно дальнейшее распространение телевизионных передач. Признанной теорией образования слоёв  $E_s$  является т. н. теория «ветрового сдвига», согласно к-рой в условиях магн. поля движения газа в атмосфере «столкают» ионы к области нулевой скорости ветра, где и образуется слой  $E_s$ .

Концентрация ионов  $O^+$  становится больше 50% выше уровня 170—180 км днём и выше 215—230 км утром, вечером и ночью. Выше и ниже этого уровня условия образования И. совершенно различны. Так, днём, когда максимум ионизации коротковолновым излучением Солнца расположен ниже этого уровня, образуется слой  $F_1$ . Этот слой регулярно наблюдается по ионограммам только при большой высоте Солнца над горизонтом, преим. летом и в основном при низкой активности Солнца, а в максимуме активности зимой он не наблюдается. Выше указанного уровня создаются благоприятные условия для образования области  $F_2$ .

Поведение гл. максимума ионизации, или области  $F_2$ , является очень сложным, оно коренным образом отличается от поведения областей  $E$  и  $F_1$ . Так, хотя в среднем электронная концентрация  $n_e$  в слое  $F_2$  определяется солнечной активностью, но от дня ко дню она сильно изменяется. Максимум  $n_e$  в суточном ходе бывает сильно смещён относительно полудня, при этом сдвиг зависит от широты, сезона и даже долготы. Сезонной аномалией наз. необычное увеличение  $n_e$  зимой по сравнению с летним сезоном. В экваториальной области до полудня имеется один, а после полудня и ночью — два максимума  $n_e$ , расположенных в геомагн. широтах

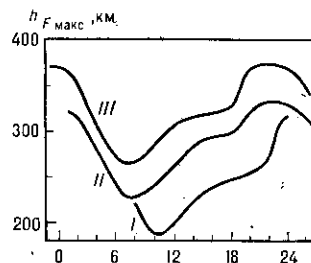


Рис. 5. Изменение высоты максимума области  $F$  в течение дня по ракетным данным: I и II — зима и лето при низкой активности Солнца; III — при высокой активности Солнца.

$\pm 15$  (экваториальная, или геомагн., аномалия). В период восхода Солнца оба максимума начинают расходиться, перемещаясь в более высокие широты, и быстро исчезают, в то время как на экваторе образуется новый максимум. Обнаружено необычное поведение области  $F_2$  и на высоких широтах, в частности образование широтной зоны пониж. ионизации («провала»), идущей параллельно зоне полярных сияний, где наблюдается повыш. ионизация. Всё это говорит о том, что помимо солнечного излучения изменения  $n_e$  в области  $F_2$  определяются рядом геофиз. факторов.

Высота гл. максимума И.  $h_{max}$  слоя  $F$  в ср. широтах северного полушария изменяется в течение суток сложным образом (рис. 5), глубоко спускаясь утром и достигая максимума вблизи полудня. Высота слоя  $F_2$  зимой ниже (кривая I), чем летом (кривая II), а при высокой активности Солнца (кривая III) выше, чем при низкой (кривые I и II).

Новая теория образования области  $F$  учитывает действие *амбиполярной диффузии*, к-рая объяснила