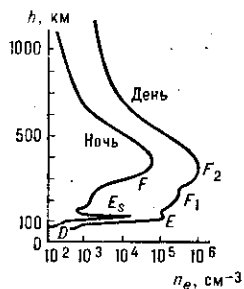


Установлено, что  $T_e$ ,  $T_i$  и  $n_e$  в И. резко растут до области  $F$  (табл. и рис. 2); в верх. части И. рост  $T_i$  замедляется, а  $n_e$  выше области  $F$  уменьшается с высотой. Сначала постепенно до высот 15—20 тыс. км (т. н. и л а з м о п а у з а), а потом более резко, переходя к низким концентрациям  $n_e$  в межпланетной среде.



Характеристики И. изменяются с широтой; различают среднеширотную, экваториальную, авроральную и полярную И., из к-рых наиб. регулярна среднеширотная. Наблюдаются спокойные и возмущённые состояния

Рис. 2. Типичное распределение по вертикали электронной концентрации  $n_e$  в ионосфере; буквами отмечено положение различных областей.

И. Структура спокойной И. регулярно изменяется во времени: в течение дня, сезона и 11-летнего солнечного цикла. От минимума к максимуму солнечного цикла  $n_e$  изменяется от  $n_e^{\text{мин}}$  до  $n_e^{\text{макс}}$ , растут темп-ра и высота слёв И. (табл.).

Значения характеристик основных областей ионосферы для средних широт

Область ионосферы	Высота максимума, км	$T_i$ , К	День		Ночь $n_e$ , см <sup>-3</sup>	$\alpha'$ , см <sup>2</sup> с <sup>-1</sup>
			$n_e^{\text{мин}}$ , см <sup>-3</sup>	$n_e^{\text{макс}}$ , см <sup>-3</sup>		
D . . . . .	70	220	100	200	10	$10^{-8}$
E . . . . .	110	270	$1,5 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	3000	$10^{-7}$
F <sub>1</sub> . . . . .	180	800—1500	$3 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	—	$3 \cdot 10^{-8}$
F <sub>2</sub> (зима)	220—280	1000—	$6 \cdot 10^5$	$25 \cdot 10^5$	$\sim 10^5$	$2 \cdot 10^{-10}$
F <sub>2</sub> (лето)	250—320	2000	$2 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$	$\sim 3 \cdot 10^4$	$10^{-10}$

**Образование ионосферы.** В И. непрерывно протекают процессы ионизации и рекомбинации. Наблюдаемые в И. концентрации ионов и электронов есть результат баланса между скоростью их образования в процессе ионизации и скоростью уничтожения за счёт рекомбинации и др. процессов. Источники ионизации и процессы рекомбинации разные в разл. областях И.

Осн. источником ионизации И. днём является коротковолновое излучение Солнца с длиной волны  $\lambda \leq 1038 \text{ \AA}$ , однако важны также и корпускулярные потоки, галактические и солнечные космические лучи и др. Каждый тип ионизирующего излучения оказывает наиб. действие на атмосферу лишь в определ. области высот, соответствующих его проникающей способности. Так, коротковолновое излучение Солнца с  $\lambda = 85-911 \text{ \AA}$  большей частью ионов образует в И. в области 120—200 км (но действует и выше), тогда как излучение с  $\lambda = 911-1038 \text{ \AA}$  вызывает ионизацию на высотах 95—115 км, т. е. в области E, а рентг. излучение с  $\lambda$  короче 85  $\text{ \AA}$  — в верх. части области D на высотах 85—100 км. В ниж. части области D, ниже 60—70 км днём и ниже 80—90 км ночью, ионизация осуществляется т. н. галактич. космич. лучами. Существенный вклад в ионизацию области D на высотах ок. 80 км вносят корпускулярные потоки (вапр., электроны с энергией  $\leq 30-40 \text{ кэВ}$ ), а также солнечное излучение первой линии серии Лаймана ( $L_{\alpha}$ ) водорода с  $\lambda = 1215,7 \text{ \AA}$  (см. *Спектральная серия*).

Кроме обычных условий ионизации, во время солнечных вспышек всплеск рентг. излучения вызывает внезапное возмущение в ниж. части И. Через неск. часов после солнечных вспышек в атмосфере Земли проникают также солнечные космические лучи, к-рые вызывают повыш. ионизацию на высотах 50—100 км,

особенно сильную в полярных шапках (областях вблизи магн. полюса). В этой зоне в отд. периоды времени действуют потоки протонов и электронов, к-рые вызывают не только ионизацию, но и заметное свечение атмосферы (полярные сияния) на высотах 100—200 км, по они действуют и ниже, в области D. Во время магн. бурь эти потоки корпускул усиливаются, а зона их действия расширяется к более низким широтам (иногда т. н. низкоширотные красные сияния наблюдают на широте Москвы и южнее). Когда в межпланетном пространстве в районе Земли возрастает солнечный корпускулярный поток, к-рый задерживается магнитосферой, происходит не только возмущение геомагн. поля (магнитная буря), но изменяются радиационные пояса Земли, усиливаются корпускулярные потоки в зоне полярных сияний и т. д. При этом происходит также доплунг. разогревание верх. атмосферы и изменяются условия ионизации И. В свою очередь, изменения И. и движения в ней влияют на вариации геомагн. поля и др. явления в верх. атмосфере.

Процессом, обратным ионизации, является процесс нейтрализации, или рекомбинации. Механизм рекомбинации изменяется с высотой. Обычная радиоактивная рекомбинация эффективна лишь выше  $\sim 1000$  км, где концентрация атомных ионов на 5 порядков выше концентрации молекулярных. В осн. части И. происходит диссоциативная рекомбинация молекулярных ионов с коэф.  $\sim 10^{-7} \sqrt{300/T_e} \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}$ . На малых высотах ниже  $\sim 70$  км (где  $n_e \ll n_i$ ) преобладает процесс взаимной нейтрализации положит. и отрицат. ионов, или по-ионная рекомбинация, с участием стабилизирующей нейтральной частицы (рекомбинация Томсона). Скорость исчезновения ионов в И. характеризуется эффективным коэф. рекомбинации  $\alpha'$ , к-рый определяет величину  $n_e$  и её изменение во времени. Значения  $\alpha'$  для разл. областей И. различны (табл. и рис. 3).

Наряду с рассмотренными выше процессами в области F существенны процессы амбиполярной диффузии и дрейфового переноса.

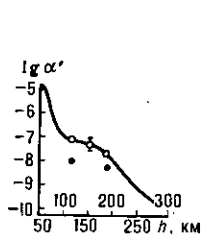


Рис. 3. Среднее измеренное значение эффективного коэффициента рекомбинации  $\alpha'$  на высотах 50—300 км.

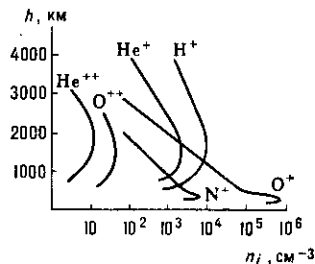


Рис. 4. Распределение с высотой концентрации ионов в верхней части ионосферы.

**Состав ионосферы.** Ионный состав И. отличается от первичного ионного состава, образующегося при ионизации верх. атмосферы солнечным излучением, в связи с тем, что в ней происходят физ.-хим. процессы трёх типов: ионизация, ионно-молекулярные реакции и рекомбинация, соответствующие трём стадиям жизни ионов — их образованию, превращениям и уничтожению. В разных областях И. каждый из этих трёх процессов проявляется по-своему, что приводит к различному ионному составу по высоте. Так, днём на высотах 85—200 км преобладают положит. молекулярные ионы  $\text{NO}^+$  и  $\text{O}_2^+$ ; концентрация ионов  $\text{N}_2^+$  на 3 порядка меньше концентрации ионов  $\text{NO}^+$ . Выше 200 км в области F преобладают атомные ионы  $\text{O}^+$ , а выше 600—1000 км — протоны  $\text{H}^+$ . Ниже 70—80 км существенно образование комплексных ионов-гидратов типа  $(\text{H}_2\text{O})_n \text{H}^+$ , а также отрицат. ионов, из к-рых наиб. стабильны ионы  $\text{O}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{HCO}_3^-$ . Отрицат. ионы наблюдаются лишь в области D.