

чек тепловыделяющих элементов используют циркалоид — сплав на основе Zr и Al. Ц. служит геттером, он — компонент мн. спец. сталей. Фторид  $ZrF_4$  применяют в волоконной оптике. Тугоплавкие оксид  $ZrO_2$  и карбид Ц. — перспективные керамич. материалы (керметы), обладающие высокой твёрдостью и стойкостью к агрессивным средам при высоких темп-рах. В качестве радиоакт. индикатора используют  $\beta^-$ -радиоактивный  $^{95}Zr$  ( $T_{1/2} = 63,98$  сут), при радиоакт. распаде к-рого образуется также  $\beta^-$ -радиоактивный  $^{95}Nb$ . С. С. Бердонос.

**ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ** общая — совокупность воздушных течений над земной поверхностью, имеющих горизонтальные размеры, соизмеримые с размерами материков и океанов, а толщину от неск. км до десятков км. Структура Ц. а. определяется пространственным распределением атм. темп-ры и давления, вращением Земли, теплофиз. характеристиками и орографией её поверхности. Над большей частью Земли выше пограничного слоя атмосферы течения Ц. а. в ср. близки к геострофическим, и, поскольку давление в общем уменьшается к субполярным зонам, характерной чертой Ц. а. является преобладание переноса воздуха с запада на восток. В тропосфере такой перенос господствует весь год, в стратосфере — зимой. Летом, из-за того что в стратосфере давление падает от высоких широт к низким, западные ветры в ней сменяются восточными. Поскольку в тропосфере горизонтальный градиент давления максимален на широте  $30-40^\circ$ , скорость ветра здесь также наибольшая. Кроме того, ср. скорость ветра растёт с высотой, достигая максимума вблизи тропопаузы. Из-за роста от лета к зиме меридиональных градиентов темп-ры, а следовательно, и давления ср. скорость течений Ц. а. зимой в 1,5—2 раза больше, чем летом. При зональных, т. е. направленных вдоль широтных кругов, потоках межширотный обмен воздухом невозможен и дефицит тепловой энергии у полюсов и избыток её в экваториально-тропич. зоне, связанные с различием в количестве поступающей в эти области лучистой энергии Солнца, должны всё время расти. Этого не происходит из-за того, что тепловой баланс поддерживается благодаря меридиональному переносу воздуха, происходящему гл. обр. в ниж. половине тропосферы. В умеренных широтах такой перенос осуществляется в осн. благодаря квазигоризонтальным длинным волнам, длина к-рых составляет неск. тысяч км. В гребнях и ложбинах таких волн происходит перераспределение тепла и количества движения между разл. широтами. Такому обмену благоприятствует нарушение устойчивости волн, приводящее к появлению в них возмущений, к-рые, обмениваясь энергией между собой и с осн. зональным потоком, отдают, кроме того, часть энергии подстилающей поверхности. Неустойчивость атм. волн растёт с увеличением горизонтальных перепадов ветра и темп-ры в зональном потоке. Поскольку летом перепады ветра в атмосфере гораздо меньше, чем зимой, Ц. а. летом более устойчива. Нарушение устойчивости зонального потока облегчается у границы между океанами и материками, при обтекании горных хребтов и т. д. Атм. вихри большого масштаба, возникающие из-за неустойчивости длинных волн, порождают крупные циклоны и антициклоны, являющиеся важнейшими звеньями общей Ц. а. Наряду с ними меридиональный обмен осуществляется с помощью возникающих при нарушении устойчивости атм. фронтов, подвижных циклонов и антициклонов, к-рые можно считать элементами макротурбулентного обмена.

Ср. поле атм. давления в тропосфере характеризуется в каждом полушарии наличием около широты  $60^\circ$  зоны пониженного, а у широты  $30^\circ$  — повышенного давления. Эти зоны состоят из существующих в течение всего года отд. крупных квазистационарных циклонов и антициклонов — центров действия атмосферы. В атмосфере имеются также сезонные центры действия, возникающие из-за различия термич. условий над материками и океанами. Примером их может служить антициклон, образующийся зимой над выхоленной территорией Сибири и Монголии.

Наличие пояса повышенного давления в субтропиках и субполярной циклонич. зоны приводит в ниж. половине тропосферы к образованию устойчивых ветров — пассатов в экваториально-тропич. зоне (северо-восточных в северном и юго-восточных в южном полушариях) и к преобладанию восточных ветров в полярных областях. Сезонные различия давления над материками и океанами обуславливают появление муссонов — устойчивых воздушных потоков, меняющих своё направление на противоположное от зимы к лету. Примером их служит летний юго-западный и зимний северо-восточный муссоны в сев. части Индийского океана. Сильнее всего муссоны развиты над Восточной и Южной Азией.

Ц. а. — один из главных климатообразующих факторов, а её характеристики в любой момент времени в значит. степени определяют погоду. Поскольку в течение года меняются приток солнечной энергии и радиац. характеристики (коэф. поглощения, отражения и т. д.) подстилающей поверхности, Ц. а. также имеет годовой ход. Многолетняя периодичность активности Солнца, по-видимому, приводит к появлению периодичности в интенсивности и характере Ц. а.

Лит. см. при ст. Атмосфера.

С. М. Шметер.

**ЦИРКУЛЯЦИЯ СКОРОСТИ** — кинематич. характеристика течения жидкости или газа, служащая мерой завихренности течения. Ц. с. представляется криволинейным интегралом по замкнутой кривой  $L$  от произведения проекции скорости  $v$  на касательную к кривой на элемент длины этой кривой  $ds$ :

$$\Gamma = \oint_L v \cos(\nu \delta s) \delta s = \int_L (v_x \delta x + v_y \delta y + v_z \delta z) = \oint_L v \delta r,$$

где  $v$  — модуль скорости,  $v_x$ ,  $v_y$  и  $v_z$  — проекции скорости на оси координат,  $\delta x$ ,  $\delta y$  и  $\delta z$  — проекции направленного элемента  $\delta r$  дуги  $L$  на те же оси. По Стокса формуле Ц. с. связана с потоком вихря  $\omega = \text{rot } v$  через произвольную поверхность  $S$ , опирающуюся на кривую  $L$ , равенством

$$\Gamma = \int_S \omega \delta S.$$

Согласно кинематич. теореме Томсона (Кельвина), индивидуальная, или субстанцииальная, производная по времени от Ц. с. по жидкому (состоящему всё время из одних и тех же частиц) замкнутому контуру равна циркуляции ускорения по тому же контуру (точка над буквой — символ индивидуальной производной по времени):

$$\frac{d}{dt} \Gamma(v) = \frac{d}{dt} \oint_L v \delta r = \Gamma(\dot{v}) = \oint_L \dot{v} \delta r.$$

Если Ц. с. равна нулю по любому контуру, проведённому внутри жидкости, то течение жидкости — безвихревое, или потенциальное, и потенциал скоростей — однозначная ф-ция координат. Если же Ц. с. по нек-рым контурам отлична от нуля, то течение жидкости либо вихревое в соответственных областях, либо безвихревое, но с неоднородным потенциалом скоростей (область течения многосвязная). В случае потенц. течения в многосвязной области Ц. с. по всем контурам, охватывающим одни и те же твёрдые границы, имеет одно и то же значение. Ц. с. широко используется как характеристика течений идеальной (без учёта вязкости) жидкости. По динамич. теореме Томсона (Кельвина) Ц. с. по замкнутому жидкому контуру остаётся постоянной во время движения, если, во-первых, жидкость является идеальной, во-вторых, давление (газа) жидкости зависит только от плотности, в-третьих, массовые силы потенциальны, а потенциал однозначен. Для вязкой жидкости Ц. с. со временем изменяется вследствие диффузии вихрей. При плоском циркуляц. обтекании контура идеальной несжимаемой жидкостью, при к-ром скорость на бесконечности отлична от нуля, воздействие жидкости на контур определяется по Жуковского теореме и прямо пропорционально значению Ц. с.,