

# Закономерности испарения воды и конденсация водяного пара

Румянцева Т.Е.

Белорусский национальный технический университет

## *Введение*

Поступление в атмосферу водяного пара происходит при отрыве молекул с поверхности воды, капель и кристаллов в воздухе, снега, льда, влажной почвы, смоченной растительности. Отрываются те молекулы, скорость движения которых выше средней при данной температуре и достаточна для преодоления сил молекулярного притяжения. Одновременно часть оторвавшихся молекул возвращается обратно, и по существу испарение – это разность между потоками молекул, отрывающихся от жидкости или кристаллов и возвращающихся обратно. С возрастанием температуры число отрывающихся молекул растёт, и, следовательно, увеличивается испарение. Испарение также зависит от влажности воздуха над данной поверхностью: чем выше его влагосодержание, тем больше поток молекул пара, возвращающихся из воздуха обратно к жидкости или кристаллам, и меньше испарение. При полном насыщении воздуха водяным паром испарение прекращается. Для испарения 1 кг воды требуется 2,5 МДж энергии, для испарения 1 кг снега или льда – 2,834 МДж.

## *1. Испарение и конденсация водяного пара*

**Испарение** – единственный источник водяного пара для атмосферы и один из наиболее эффективных механизмов расходования энергии на поверхности Земли, приводящий к её заметному охлаждению. Нередко в общем (суммарное) испарение с территории включают транспирацию – испарение воды растениями. Испарение измеряется в единицах массы воды на единицу площади за единицу времени. Если ресурсы воды не ограничены, испарение происходит с интенсивностью, равной испаряемости – потенциально возможному испарению при данных условиях погоды (т. е. при данном притоке энергии, данной влажности воздуха и т. д.). В реальных условиях испарение ограничено теми ресурсами воды и ледяных кристаллов, которые доступны для него. Кроме того, транспирация (а значит, и суммарное испарение) может сдерживаться растениями, если в данный момент это соответствует их биологическим потребностям. Сравнением испарения и испаряемости можно определить, насколько ресурсы воды или льда доступны для испарения.

Испарение твердого тела называется сублимацией (возгонкой), а парообразование в объёме жидкости — кипением. Обычно под испарением понимают парообразование на свободной поверхности жидкости в результате теплового движения её молекул при температуре ниже точки кипения, соответствующей давлению газовой среды, расположенной над указанной поверхностью. При этом молекулы, обладающие достаточно большой кинетической энергией, вырываются из поверхностного слоя жидкости в газовую среду; часть их отражается обратно и захватывается жидкостью, а остальные безвозвратно ею теряются.



**Испарение** — эндотермический процесс, при котором поглощается теплота фазового перехода — теплота испарения, затрачиваемая на преодоление сил молекулярного сцепления в жидкой фазе и на работу расширения при превращении жидкости в пар. Удельную теплоту испарения относят к 1 молю жидкости (молярная теплота испарения, Дж/моль) или к единице её массы (массовая теплота испарения, Дж/кг). Скорость испарения определяется поверхностной плотностью потока пара  $j_p$ , проникающего за единицу времени в газовую фазу с единицы поверхности жидкости [в моль/(с·м<sup>2</sup>) или кг/(с·м<sup>2</sup>)]. Наибольшее значение  $j_p$  достигается в вакууме. При наличии над жидкостью относительно плотной газовой среды испарение замедляется вследствие того, что скорость удаления молекул пара от поверхности жидкости в газовую среду становится малой по сравнению со скоростью испускания их жидкостью. При этом у поверхности раздела фаз образуется слой парогазовой смеси, практически насыщенный паром. Парциальное давление и концентрация пара в данном слое выше, чем в основной массе парогазовой смеси.

Процесс испарения зависит от интенсивности теплового движения молекул: чем быстрее движутся молекулы, тем быстрее происходит испарение. Кроме того, немаловажными факторами, влияющими на процесс испарения, являются скорость внешней (по отношению к веществу) диффузии, а также свойства самого вещества. Проще говоря, при ветре испарение происходит гораздо быстрее. Что же касается свойств вещества, то, к примеру, спирт испаряется гораздо быстрее воды. Важным фактором является также площадь поверхности жидкости, с которой происходит испарение: из узкого графина оно будет происходить медленнее, чем из широкой тарелки.

**Испарение и конденсация водяного пара.** Физическая сущность процесса испарения состоит в том, что молекулы воды, находясь в беспорядочном движении, открываются от испаряющей поверхности. Совокупность молекул воды в воздушном пространстве образует водяной пар. Двигаясь над испаряющей поверхностью в различных направлениях, часть молекул возвращается в воду. Если число вылетающих молекул больше числа возвращающихся, то это ведет к убыли и такой процесс называется испарением. Если количество вылетающих молекул равно количеству возвращающихся в во-

ду, то имеет место равновесие, и испарение (т.е. убыль воды) не происходит. При этом пространство над испаряющей поверхностью становится насыщенным водяным паром.

Когда количество водяного пара над испаряющей поверхностью становится больше необходимого для насыщения, т.е. когда число возвращающихся молекул превышает число открывающихся, то наступает процесс, обратный испарению, - конденсация пара на поверхности.

Скорость испарения увеличивается с повышением температуры увеличивается число быстро движущихся молекул, способных оторваться от испаряющей поверхности.

Для поддержания процесса испарения требуется тепло, называемое теплотой испарения. Если тепло не подводится извне, то испаряющее тепло охлаждается. При конденсации происходит выделение этого тепла.

Скорость испарения выражается слоем воды (в миллиметрах), испарившейся за единицу времени, и может быть представлена зависимостью

$$V = K \frac{E - e}{p} \vartheta(v),$$

где  $E$ -парциальное давление насыщенного водяного пара при температуре подстилающей поверхности,  $e$ -парциальное давление водяного пара, находящегося в воздухе над подстилающей поверхностью,  $p$ -атмосферное давление,  $\vartheta(v)$ - функция скорости ветра,  $K$ - коэффициент пропорциональности.

Разность  $(E - e)$  выражает закон Дальтона и является основным фактором интенсивности испарения, т.е. чем меньше водяного пара над испаряющей поверхностью при той же величине  $E$ , тем больше скорость испарения.

Водяной пар, содержащийся в атмосфере, может переходить в жидкое или твердое состояние лишь в том случае, когда его парциальное давление превышает давление насыщенного пара, т.е. когда  $e > E$ . Поэтому для начала конденсации или сублимации либо парциальное давление водяного пара в воздухе должно увеличиваться до значения, превышающего давление насыщенного пара, либо температура воздуха должна опуститься ниже точки росы. При дальнейшем понижении температуры парциальное давление водяного пара не может превышать максимально возможного. Поэтому оно тоже понижается, а избыток пара непрерывно конденсируется.

Конденсация водяного пара происходит вследствие охлаждения земной поверхности путем излучения и последующего охлаждения прилегающего слоя атмосферы.

В ясную тихую погоду после захода Солнца земная поверхность и наземные предметы под влиянием излучения начинают охлаждаться. Охлаждается и прилегающий к ним слой атмосферы. Водяной пар, содержащийся в этом слое, приближается к состоянию насыщения. Когда температура земной поверхности и наземных предметов опускается ниже точки росы воздуха, водяной пар из воздуха конденсируется на них, образуя капли росы. Охлаждение приземного воздуха ниже точки росы может привести к конденсации водяного пара также и в воздухе. При этом образуется туман.

### *Заключение*

Испарение зависит от скорости ветра, поскольку ветер и связанная с ним турбулентность относят водяной пар от испаряющей поверхности и создают дефицит насыщения.

В реальных условиях атмосферы наряду с испарением происходит обратный процесс-превращение водяного пара в капельки воды (конденсация), при низких тем-

пературах- в кристаллики льда (сублимация-переход водяного пара из газообразного состояния в лед, минуя жидкую фазу).

При сублимации водяного пара сначала возникают жидкие зародышевые капельки на обычных ядрах конденсации. При достаточно низких отрицательных температурах они замерзают, и лишь после этого на них развиваются кристаллы. В атмосфере водяные капельки не замерзают, а остаются переохлажденными даже при температурах значительно ниже 0 °С. Например, в облаках и туманах переохлажденные капли иногда встречаются при температуре —40 °С. Однако большая часть капель переходит в твердое состояние уже в пределах температур от —12 до —17 °С.

Воздух, соприкасающийся с холодной почвой и наземными предметами, может охладиться до точки росы. При дальнейшем его охлаждении избыток пара начинает конденсироваться на поверхности охлажденных предметов. При этом выпадает роса и образуются жидкий налет, а также твердый налет, иней и кристаллическая изморозь. Кроме того, результатами процесса сублимации являются гололед, зернистая изморозь и обледенение, которые возникают при оседании и последующем замерзании переохлажденных капель и при непосредственном оседании ледяных кристаллов на земной поверхности и наземных предметах.

Конденсация и сублимация происходят при наличии ядер конденсации. Ядрами конденсации являются взвешенные в воздухе мельчайшие частицы почвы, горных паров, органических веществ, вулканической и космической пыли. Эти частицы в большом количестве поступают в атмосферу при ее турбулентном перемешивании и под воздействием восходящих движений воздуха. В атмосфере водяные капельки воды не замерзают, находясь в переохлажденном состоянии, например в облаках и туманах при температуре.

### *Литература*

1. <http://meteorologist.ru/kondensatsiya-vodyanogo-para-v-atmosfere.html>
2. <http://www.geo-site.ru/index.php/2011-01-11-14-45-02/141-2011-10-02-14-59-59/790-kondensatsia.html>
3. [http://slavavode.ucoz.ru/index/krugovorot\\_vody/0-172](http://slavavode.ucoz.ru/index/krugovorot_vody/0-172)