

Под *испаряемостью* понимают от количество воды, которое испарилось бы с поверхности суши в данной местности при неограниченном запасе влаги в почве.

В районах с избыточным увлажнением фактическое испарение близко к испаряемости. В засушливых районах испарение значительно меньше испаряемости. Исследованиями М. И. Будыко установлено, что испаряемость близка к величине  $(Q_0)_{\max}$ , определенной формулой (5.10).

## 6 Круговорот воды на Земле

Общеизвестна огромная роль воды и ее аномальных свойств в возникновении и поддержании жизни на нашей планете, в формировании погоды и климата Земли. Особенно велико значение пресной воды, без которой невозможно существование растительного и животного мира планеты. Во все возрастающих количествах пресная вода используется человеком как абсолютно необходимый продукт питания, так и в процессе многогранной производственной деятельности. Хотя в целом запасы воды на Земле велики (если ее равномерно распределить по земному шару, то образовался бы слой толщиной 2728 м), большая часть воды (96,5 %) сосредоточена в Мировом океане (занимающем 71 % поверхности Земли при средней глубине 3700 м). На остальные виды воды приходится, таким образом, всего 3,5 %, из них на долю пресной воды — 2,53 % общего ее количества на планете. Однако и эта сравнительно небольшая масса пресной воды исключительно неравномерно распределена по Земле: основная ее часть сосредоточена в ледниках и постоянно залегающем снежном покрове (68,7 %), в водоносных слоях земной коры (30,1 %) и в подземных льдах (0,86 %).

В наиболее доступных для потребления источниках пресной воды — руслах рек и озерах — находится лишь очень малая доля пресной воды: соответственно 0,006 и 0,26 % общих ее запасов. Оставшаяся пресная вода заключена в атмосфере (0,04 %), болотах (0,03 %) и биомассе (0,003 %). Совершенно очевидно, что эти запасы пресной воды были бы за сравнительно короткий период времени полностью исчерпаны, если бы не происходил круговорот воды в природе, в процессе которого осуществляется возобновление запасов воды. Определяющую роль в этом процессе играет атмосфера, где образовавшийся при испарении с земной поверхности водяной пар конденсируется и затем выпадает на землю в виде осадков.

В среднем за год, как уже указывалось, на поверхность земного шара выпадает  $5,77 \cdot 10^{14}$  т осадков (слой воды толщиной  $5,77 \cdot 10^{14} / 5,1 \cdot 10^{14} \text{ м} = 1131$  мм). В процессе испарения, конденса-

ции и последующего выпадения осадков вода в атмосфере возобновляется (полностью обновляется) в течение года примерно 45 раз, т. е. через каждые 8,1 сут. Это — наиболее быстрый (среди всех звеньев влагооборота) процесс обновления воды в природе. Близок к атмосферному периоду обновления воды в руслах рек — около 16 сут. Все другие периоды обновления запасов воды намного больше: в озерах — 17 лет, подземных вод — 1400 лет, крупных горных ледников — 1600 лет, Мирового океана — 2500 лет, полярных ледников — 9700 лет, подземных льдов — 10 000 лет.

Большой познавательный и прикладной интерес представляет оценка атмосферного звена круговорота воды в атмосфере, под влиянием которого осуществляется возобновление пресной воды на суше.

В работах О. А. Дроздова, Х. П. Погосяна и других советских ученых исследован круговорот воды между океанами и материками. Горизонтальный перенос водяного пара оценен с помощью карт барической топографии, испарение, осадки и сток — по данным наземных наблюдений.

Известно, что испарение с поверхности Мирового океана ( $Q'_0$ ) превышает количество осадков ( $I_0$ ), выпадающих на ту же поверхность. Оставшаяся часть  $A = Q'_0 - I_0$  водяного пара океанического происхождения выносится воздушными потоками на материки. Из этого переносимого атмосферой потока влаги ( $A$ ) на ближайшей к океану части материка из образовавшейся над океаном и материком облачности выпадают осадки (количество их обозначим  $I_n$ ). За время движения воздуха над материком к переносимому водяному пару добавляется пар ( $Q_m$ ), образовавшийся в процессе испарения воды с поверхности материка. Часть этого пара ( $I_m$ ) после конденсации выпадает в виде осадков местного происхождения, а другая часть ( $C'' = Q_m - I_m$ ) выносится за пределы материка. Выносится за его пределы и часть  $C' = A - I_n$  водяного пара, который поступил на материк с океана и не успел над ним сконденсироваться и выпасть в виде осадков.

Результаты расчетов (по данным наблюдений) всех указанных составляющих круговорота воды над всеми материками (кроме Антарктиды) представлены в табл. 14.8. Видно, что самое большое количество осадков ( $28,4 \cdot 10^{12}$  т/год) выпадает в Южной Америке, большая часть которых образуется из водяного пара, принесенного в основном с Атлантического океана (путь пару с Тихого океана преграждает ориентированная вдоль меридиана горная система Анд). Из переносимого над Южной Америкой водяного пара формируется примерно столько же осадков (16,90 Тт/год), сколько и над всей Евразией (21,17 Тт/год), хотя площадь ее почти в 3 раза меньше. Велика в Южной Америке (по сравнению с другими материками) и доля осадков ( $I_m$ ), которые обра-

зуются из пара местного происхождения ( $Q_M$ ): здесь отношение  $I_M/Q_M$  составляет 0,76, в то время как в Европе оно равно 0,48, в Африке 0,41, а в Австралии — только 0,14.

Таблица 14.8. Составляющие круговорота воды на материках Земли

| Материк          | Площадь, тыс. км <sup>2</sup> | Влагооборот, атм., Гт | Составляющие круговорота, Тт/год |       |       |                 |      |     | $I/I_{\Pi}$ | $C/I$ | $C/A$ |      |     |
|------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-------|-------|-----------------|------|-----|-------------|-------|-------|------|-----|
|                  |                               |                       | осадки                           |       |       | испарение $Q_M$ | сток | A   |             |       |       | C'   | C'' |
|                  |                               |                       | $I_{\Pi}$                        | $I_M$ |       |                 |      |     |             |       |       |      |     |
| Европа           | 9 800                         | 144                   | 5,31                             | 2,23  | 4,68  | 2,73            | 10,1 | 4,8 | 2,5         | 1,42  | 0,97  | 0,72 |     |
| Азия             | 40 775                        | 864                   | 15,86                            | 9,84  | 15,22 | 10,79           | 20,1 | 4,2 | 5,3         | 1,62  | 0,37  | 0,47 |     |
| Африка           | 29 530                        | 848                   | 15,08                            | 6,33  | 15,50 | 4,18            | 24,6 | 9,5 | 9,2         | 1,42  | 0,87  | 0,76 |     |
| Северная Америка | 20 060                        | 329                   | 9,79                             | 6,36  | 9,53  | 6,63            | 12,3 | 2,5 | 2,8         | 1,65  | 0,33  | 0,43 |     |
| Южная Америка    | 17 800                        | 522                   | 16,90                            | 11,50 | 15,12 | 11,76           | 20,7 | 3,8 | 3,7         | 1,68  | 0,26  | 0,36 |     |
| Австралия        | 7 615                         | 183                   | 3,04                             | 0,43  | 2,99  | 0,30            | 12,8 | 9,7 | 2,6         | 1,14  | 3,50  | 0,96 |     |

Примечание. В таблице обозначено:  $C=C'+C''$  — общий вынос воды с материка;  $I=I_{\Pi}+I_M$  — общее количество осадков, выпавших на материке из принесенной с океана влаги ( $I_{\Pi}$ ) и поступившей в процессе испарения с самого материка ( $I_M$ );  $I/I_{\Pi}$  — показатель влагооборота (1 Гт=10<sup>9</sup> т, 1 Тт=10<sup>12</sup> т).

В Южной Америке отмечаются наиболее благоприятные условия для конденсации водяного пара и формирования осадков: здесь только около  $1/3$  (3,8 из 20,7 Тт/год) массы водяного пара с океана и около  $1/4$  (3,7 из 15,12 Тт/год) массы пара местного происхождения выносятся за пределы материка; отношения  $C/I$  и  $C/A$ , характеризующие общий вынос пара по сравнению с осадками и переносом пара с океана, в Южной Америке достигают минимальных значений (0,26 и 0,36); отношение стока к  $C$  здесь минимально (1,56).

Значителен перенос влаги над Европой (10,1 Тт/год). Однако условия для образования осадков здесь менее благоприятные: примерно половина (4,8 из 10,1 Тт/год) массы пара, поступившего преимущественно с Атлантики, и несколько больше половины (2,5 из 4,68 Тт/год) массы местного пара выносятся за пределы материка. Как следствие этого, в Европе достаточно велики отношения  $C/I$  и  $C/A$  (соответственно 0,97 и 0,72) и мало  $I_{\Pi}/A$ , а также отношение стока к выносу (оно равно 0,37).

Наиболее неблагоприятные условия для образования осадков наблюдаются в атмосфере Австралии. Вынос пара за пределы материка здесь в 3,5 раза превышает количество осадков; отношение  $C/A$  достигает 0,96, а доля осадков по сравнению с выносом ( $C$ ) составляет всего лишь 2%.

Кратко обсужденные результаты расчета составляющих влагооборота на материках позволяют более глубоко вскрыть законо-

мерности образования осадков, а также закономерности формирования погоды и климата в различных частях Земли. Большое значение эти данные имеют в связи с проблемой искусственного вызывания осадков.

**Суточные и годовые колебания влажности на океанах.** Для построения спектральных функций точки росы использованы наблюдения за влажностью в тропической зоне Атлантического океана в течение 204 суток. Анализ этих функций показал, что наиболее значительной амплитудой ( $A_T$ ) обладают колебания с полусуточным ( $A_T \approx 0,11^\circ\text{C}$ ) и суточным ( $A_T \approx 0,24^\circ\text{C}$ ) периодами, а также с периодами 2,3—4,4 сут ( $A_T$  колеблется от 0,31 до  $0,43^\circ\text{C}$ ) и 3,6—8,0 сут ( $A_T$  колеблется от 0,45 до  $0,59^\circ\text{C}$ ), называемыми синоптическими.

В течение года давление водяного пара  $e$  в Атлантическом океане изменяется значительно (табл. 14.9).

**Таблица 14.9.** Годовой ход давления водяного пара  $e$  (гПа) в Атлантическом океане ( $30^\circ$  з. д.)

| Широта        | I    | II   | III  | IV   | V    | VI        | VII  |
|---------------|------|------|------|------|------|-----------|------|
| $50^\circ$ с. | 9,5  | 9,2  | 9,0  | 10,0 | 11,6 | 12,9      | 14,0 |
| Экватор       | 28,0 | 28,0 | 28,0 | 29,0 | 27,2 | 27,5      | 26,5 |
| $50^\circ$ ю. | 8,7  | 8,0  | 7,5  | 8,0  | 6,1  | 6,1       | 5,8  |
| Широта        | VIII | IX   | X    | XI   | XII  | Амплитуда |      |
| $50^\circ$ с. | 14,9 | 14,1 | 12,0 | 10,8 | 9,7  | 5,9       |      |
| Экватор       | 26,7 | 27,4 | 27,4 | 27,6 | 28,0 | 2,5       |      |
| $50^\circ$ ю. | 5,4  | 5,8  | 6,2  | 7,0  | 8,0  | 3,3       |      |

В умеренных широтах в северном полушарии максимум  $e$  наблюдается в августе, минимум — в марте; в южном полушарии максимум наблюдается в январе, минимум — в августе. На экваторе наибольшее значение  $e$  отмечается в апреле (когда вблизи экватора находится ВЗК), а наименьшее — в июле (когда ВЗК наиболее удалена от экватора). Амплитуда годового хода давления водяного пара (равно как и температуры воздуха) в северном полушарии значительно больше, чем в южном.