5.9 HYDROLOGICAL CYCLE

About one third of the important 100 elements which occur naturally in the earth's crust are very important for the sustenance of life in the biosphere. Out of these essential elements oxygen, carbon and hydrogen are by far the most essential elements for the existence of living organisms because these three elements constitute 90 per cent of dry weight of the organic matter in the biosphere. Out of these three essential elements, hydrogen in the form of water and oxygen together make up 80.5 per cent of the total weight of all the living organisms. Since hydrogen enters the biosphere and goes out of the biosphere in the form of moisture mainly in liquid form, the hydrogen cycle is discussed in terms of water cycle or hydrological cycle.

The water or hydrological cycle at global scale involves the mechanisms of (i) evaporation of water from the oceanic water through

insolation, (ii) conversion of water into water vapour or moisture, (first and second processes are almost the same), (iii) transport of atmospheric moisture over the oceans and the continents by atmospheric circulation, (v) release of atmospheric moisture in the form of precipitation (either in liquid form as water, or in solid form as snow and ice and other minor forms as dew, fogs etc.) over the continents and oceans, and (vi) eventual transfer of water received at the earth's surface to the oceans viz various routes and hydrological processes, important being surface run off and rivers (fig. 5.7).

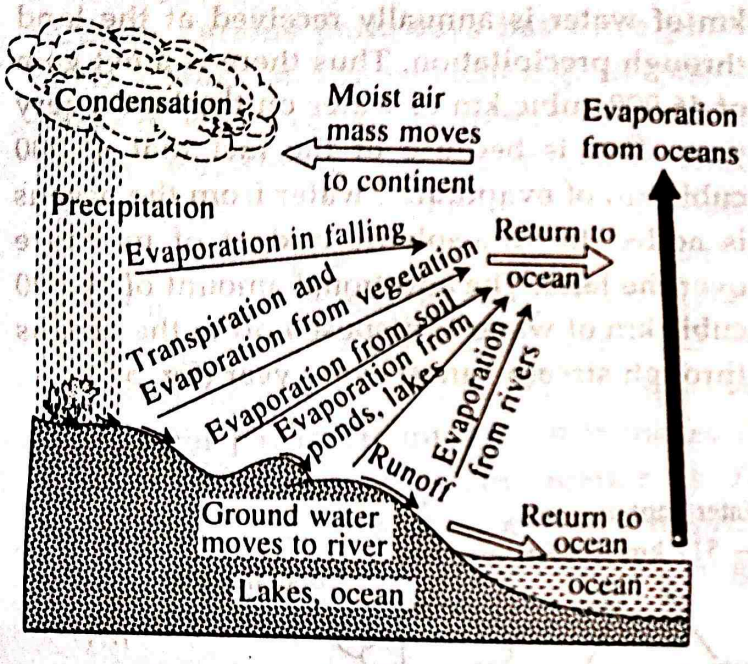


Fig. 5.7 : Global hydrological cycle involving different pathways of water e.g. from the ocean, through the atmosphere and the lithosphere back to the ocean.

The mechanisms of global hydrological cycle can be presented in the following manner :

Oceanic water is heated by insolation and thus water is transformed (only a small fraction of oceanic water) into gaseous form-water vapour or moisture. This moisture is transported across the oceans and over the continents by atmospheric circulation (winds). The air is cooled because of its ascent and thus the moisture is released as precipitation over the oceans and the continents. The precipitation falls on the land in a variety of ways e.g. (i) Some precipitation falls directly in the streams, lakes and other bodies. This precipitation fall is called **direct fall** which is directly disposed off back to the oceans. (ii) Some portion of rainfall is intercepted by vegetation. Some portion of this intercepted rainfall is evaporated from the leaves and the remainder reaches the ground through the branches and stems of plants as **stem flow** or **aerial streams.** (iii) Some portion of rainfall reaches the ground directly as **throughfall.** Some portion of rainfall is lost to the atmosphere through evapo-transpiration from the vegetation. Some water is also lost to the atmosphere through evaporation from the lakes, ponds, tanks and rivers.

A sizeable portion of rainfall reaching the ground surface becomes effective overlandflow which reaches the streams as surface runoff. Some portion of rainwater received at the ground surface enters the soil zone through infiltration and thus forms **soil moisture storage** of which some portion is again lost to the atmosphere through evaportion and plant transpiration, some portion reappears as seepage and springs via **throughflow** and **interflow** while some portion percolates further downward to form **ground water storage** of which soome portion reaches the channel through **base flow,** some portion moves upward as capillary rise to reach 'soil moisture storage' and some portion is routed further donward through **deep trnasfer** and enters the underlying bedrocks. The **channel storage** receives water from **surface storage** through runoff, from soil moisture storage through interflow and throughflow and from groundwater storage through base flow. Thus the initial input of precipitation finds exit through two paths of output e.g. (i) to the atmosphere through evaporation from

rivers, lakes, ponds, soil, evapotranspiration from vegetation and evaporation of falling rains, and (ii) to the oceans through channel runoff or stream flow. This process is repeated every year to make the water or hydrological cycle at global scale effective.

It may be pointed out that though the different hydrological processes as elaborated above maintain the global hydrological cycle through the oceans, the atmosphere and the continents but out of the total moisture of the biosphere 95 percent is never available to hydrological cycle because it is (estimated quantity being $2,50,000 \times 10^{20}$ grams) locked in the rocks of the earth's crust. Thus only 5 percent of the total moisture of the biosphere is available to the global hydrological cycle. Of this 5 percent of moisture about 97.2 percent is stored in the oceans and the remainder 2.8 percent is represented by 2.15 percent moisture stored in polar ice caps and permanent glaciers, 0.62 percent moisture in the form of groundwater (which is in circulation) and 0.03 percent moisture in the streams, soils, freshwater lakes, saline lakes and inland seas.

It is believed that the global hydrological cycle involves the balance between evaporation and precipitation over the earth's surface but the pattern of balance between evaporation and precipitation is not uniform over the oceans and the land. According to the estimate of M.L. Budyko (1971) evaporation exceeds precipitation over the oceans because 4,55,000 cubic km of water is evaporated from the oceans every year whereas only 409,000 cubic km of water is returned to the oceans through precipitation per annum. Thus there is net loss of 46,000 cubic km of water from the oceans every year. On the other hand 62,000 cubic km of water is evaporated from different water bodies of the land annually but 108,000 cubic km of water is annually received at the land through precipitation. Thus there is a net gain of 46,000 cubic km of water on the land every year. This is because of the fact that 46,000 cubic km of evaporated water from the oceans is added to atmospheric budget of moisture over the land. The additional amount of 46,000 cubic km of water is disposed off to the oceans through stream runoff every year (fig. 5.8).

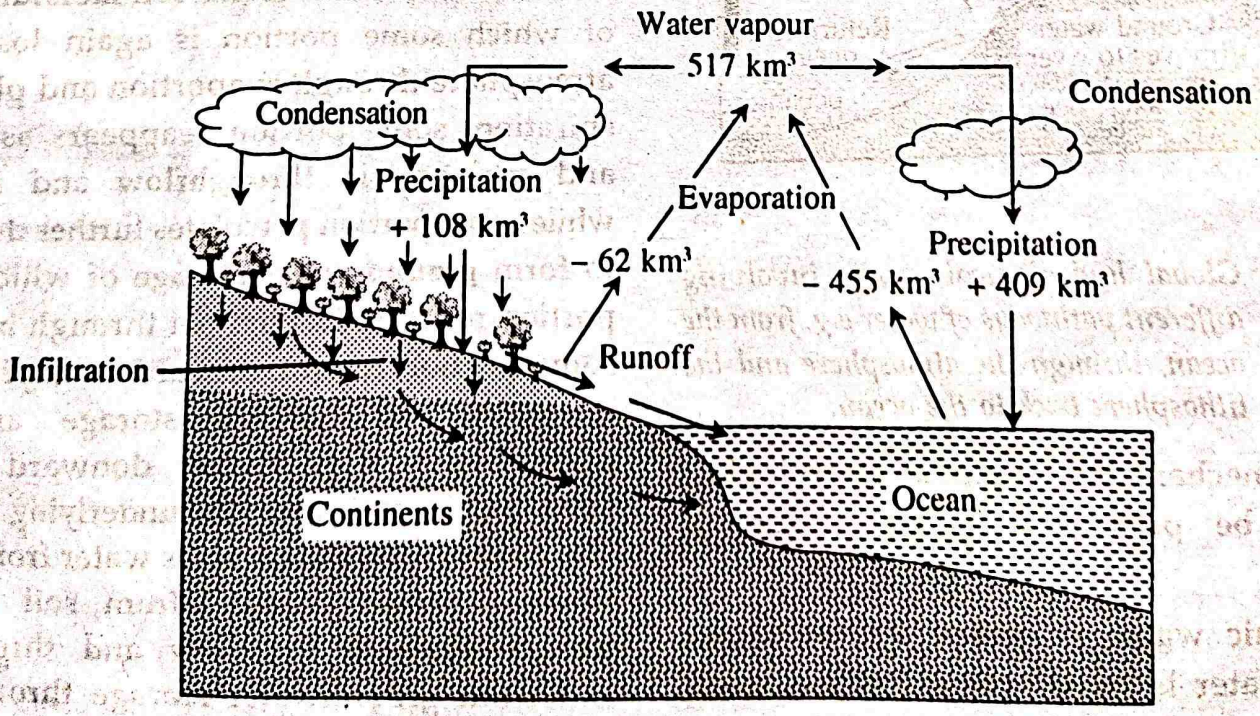


Fig. 5.8 : Global hydrological balance. Source : data from M.L. Budyko (1971).

Hydrological cycle is very important mechanism for various biological processes in the biosphere because no life is possible without water. Though the interaction between vegetation and hydrological cycle is very limited but the effect of hydrological cycle on the biosphere (viz. vegetation) is enormous because the vegetation is an effective medium for the circulation of sediments and chemical elements through biogeochemical cycles in the biosphere and all these cycles become possible only through the movement of water.

5.10 CARBON CYCLE

The carbon which moves in the biosphere through various parthways has three phases of its storage and movement e.g. (i) gaseous phase in which carbon is present as gas (CO_2) in the atmosphere, (ii) liquid phase which includes dissolved carbon dioxide in water, and (iii) solid phase which includes carbon stored in the sediments, fossil fuels and organic matter. 'The movement of carbon in solid and liquid forms and as carbon dioxide (gaseous form) is of particular interest as it makes up around 50 percent of organic matter by dry weight, and its movemetns within the biosphere are closely bound up with the flow of energy' (P.A. Furley and W.W. Newey, 1982).

The carbon cycle involving the circulation of carbon within the biosphere includes two pathways or cycles e.g. (i) **gaseous cycle,** which involves the movement of carbon as carbon dioxide (CO_2) which is found as free gas in the atmosphere and as a gas dissolved in the water of the land and of the seas and the oceans, and (ii) **non-gaseous or inorganic** cycle involves the solid phase of carbon wherein it resides in carbohydrate molecules (CH_20) in the organic matter, as hydrocarbon compounds in the rocks of the earth's crust (in coal etc.) and as mineral carbonate compounds such as calcium carbonate.

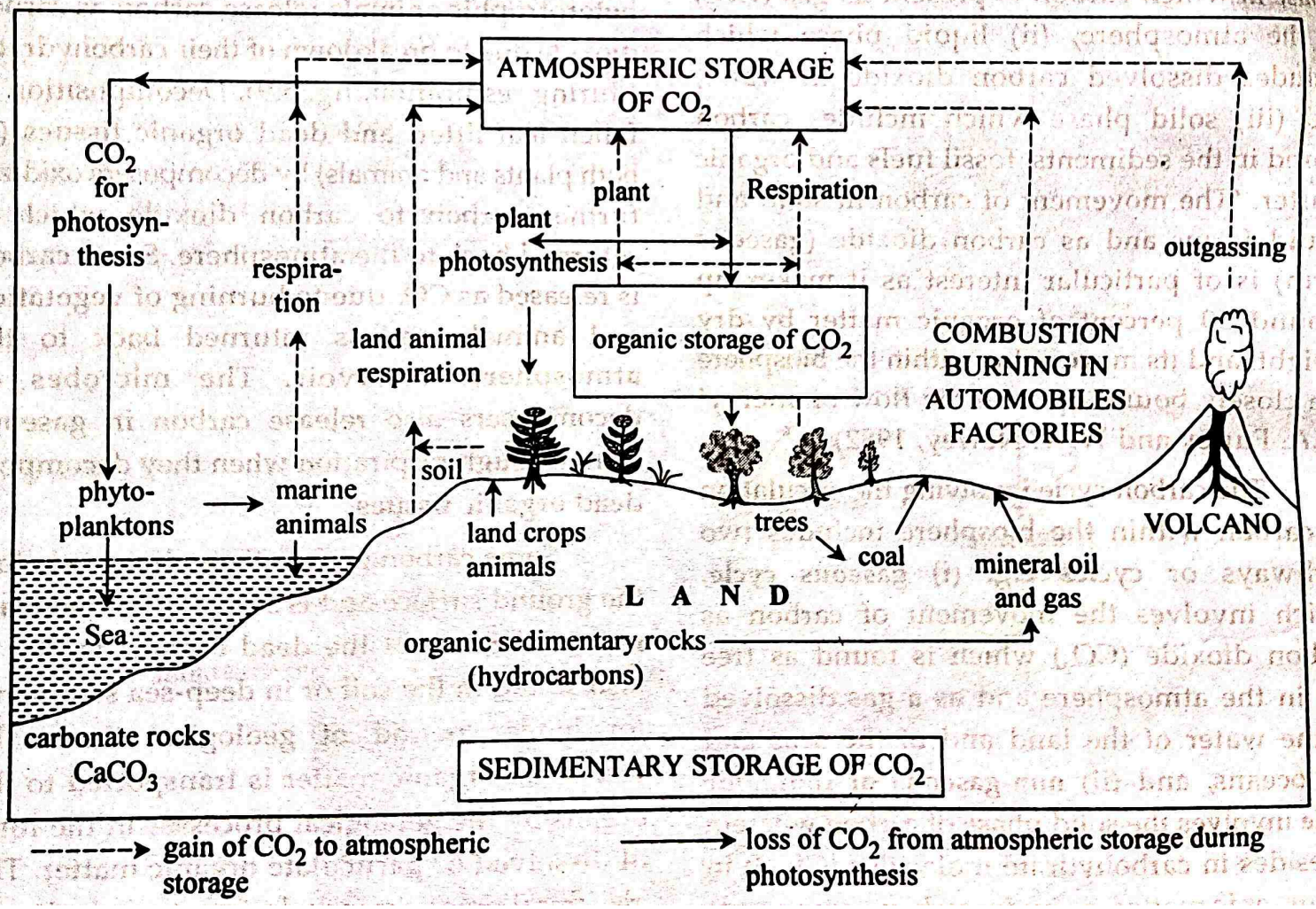
Thus the carbon dioxide assimilated by plants is stored in the woody tissues of plants. This is called as **organic reservoir** (fig. 5.9) of carbon. Forests, mainly tropical evergreen rainforests, temperate evergreen and deciduous forests, and the boreal forests are significant storages (reservoirs) of biological carbon of the biosphere. Carbon is released from the living organisms due to breakdown of carbohydrates during respiration. The respiration by the biota transforms organic compounds to gaseous carbon dioxide which is returned back to the atmospehre.

Some of the carbohydrates (chemical energy) produced by the autotrophic plants at trophic level I are consumed by the herbivourous animals at trophic level 2 and carnivorous animals at trophic levels 3 and 4 and these heterotrophic animals release carbon as carbon dioxide due to breakdown of their carbohydrates (during respiration, fig. 5.9). Decomposition of fallen leaf litter, and dead organic tissues (of both plants and animals) by decomposers oxidizes further carbon to carbon dioxide which is returned back to the atmosphere. Some carbon is released as CO_2 due to burning of vegetation and animals and is returned back to the atmospheric reservoir. The microbes or decomposers also release carbon in gaseous form through respiration when they decompose dead organic tissues.

Some carbon goes to the sediments below the ground surface and is stored in **sedimentary reservoir.** Some of the dead organic matter is also stored in the soil or in deep-sea sediments for longer period of geological time. The terrestrial organic matter is transported to the oceans by the geological processes in the form of dissolved or particulate organic matter. The geological processes include rivers, wind, glaciers etc. The organic materials brought to the oceans are generally converted into rocks and thus carbon enters the sedimentary phase.

The sedimentary reservoir or geological reservoir stores carbon mainly in the form of inorganic carbonates and to some extent in the form of peat, soil or coal or animal (e.g. shells, bones etc.) remains, or mineral oil. Carbon has a long residence time in the sedimentary phase because it remains stored in the sedimentary reservoirs for fairly a longer period of geological time. Carbon from the sedimentary phase may be released only when either (i) the rocks are weathered and eroded, or (ii) the fossil fuels (coal, peat, petroleum and natural gas) are burnt during their uses in the factories, automobiles or domestic affairs. Carbon released from the sedimentary reservoirs (through weathering and erosion of rocks, burning of fossil fuels and volcanic eruption) goes back to the atmospheric reservoir but this sedimentary cycle of carbon takes much longer time of geological time scale.

The movement of carbon in the marine ecosystem is much simpler. Atmospheric carbon dioxide is taken by the marine autotrophic phytoplanktons who transform carbon together with oxygen and hydrogen into carbohydrates during the process of photosynthesis. Some portion of carbon stored in phytoplanktons goes to sedimentary storages after their death, some portion is transformed into organic matter to form petroleum and natural gas and some portion is transferred to marine animals when they feed on phytoplanktons and on such animals which feed on zooplanktons. Some portion of carbohydrates stored in the marine animals is broken down during respiration



and thus carbon is released from marine animals as carbondioxide which is returned back to the atmospheric reservoir. The remaining portion of carbon of marine organisms goes to sedimentary reservoir as carbonate sediments and hydrocarbons. Carbon stored in the sedimentary reservoirs may be released to the atmosphere after long period of geological time scale through weathering and volcanic eruption (fig. 5.9).

5.11 OXYGEN CYCLE

Oxygen plays a significant role in the biosphere and is very essential element for the living organisms because it supports life and arises from it. The circulation of oxygen also helps in the cycling of other elements in the biosphere. Oxygen is chemically very active because it combines with majority of the elements in the biosphere. It generally forms about 70 percent atoms in living matter and plays a very important role in the formation of carbohydrates, fats and proteins. It is required for respiration process by the animals including man and for photosynthesis by the plants. The oxygen cycle in the biosphere is very much complicated because of its various chemical forms e.g. molecular oxygen (O_2), water (H_2O), carbon dioxide (CO_2), different inorganic compounds as oxides (iron oxides-Fe_2O_3), carbonates (calcium carbonate-$CaCO_3$) etc.

It is believed that there was no free oxygen in the original earth-atmosphere. The molecular oxygen probably was formed only after the development of photosynthesising organisms due to splitting of water molecules by plant cells. Water is split by plant cells and is reconstituted in about every 2 million years and thus oxygen produced circulates in the atmosphere through various components and is again recycled after about 2000 years. Thus it is obvious that the residence time of oxygen in the atmosphere is much longer (2000 years, that is oxygen is recycled in 2000 years) than the residence time of carbon (300 years, that is the carbon released by plants and animals through respiration is available again for them after 300 years).The oxygen continued to concentrate in the atmosphere from the time of its formation and now it constitutes about 21 percent of the total gaseous composition of the atmosphere. It is important to note that oxygen remains in molecular oxygen form (O_2) for very short time because it readily combines with CO_2 or H_2O or with other oxide forms.

Oxygen is produced through the process of photosynthesis by the autotrophic green plants of terrestrial ecosystems and phytoplantktons of marine ecosystems and to a lesser extent by the reduction of various mineral oxides. Oxygen, thus produced, enters the **atmospheric storage pool.** Every year some oxygen is also added to the atmosphere from volcanic eruption through outgassing mainly in the form of CO_2 and H_2O. Oxygen from the atmospheric storage pool is used by marine and terrestrial animals during respiration. Oxygen is also consumed during burning of wood and fossil fuels. Some portion of oxygen in the form of oxides is incorporated in the drainage waters and ultimately reaches the oceans and is incorporated in the sediments. Thus oxygen enters the **sedimentary storage pool** and remains there for considerably a longer period of geological time scale. Thus the oxygen cycle involves the input of oxygen to the atmospheric storage pool from the photosynthesis of marine and terrestrial autotrophic plants and from volcanic eruption and the loss of oxygen from the atmospheric storage pool through respiration of marine and terrestrial organisms and minerals oxidation, burning of wood, grasses and forest fires, combustion of fossil fuels (coal and petroleum) etc. (fig. 5.10).

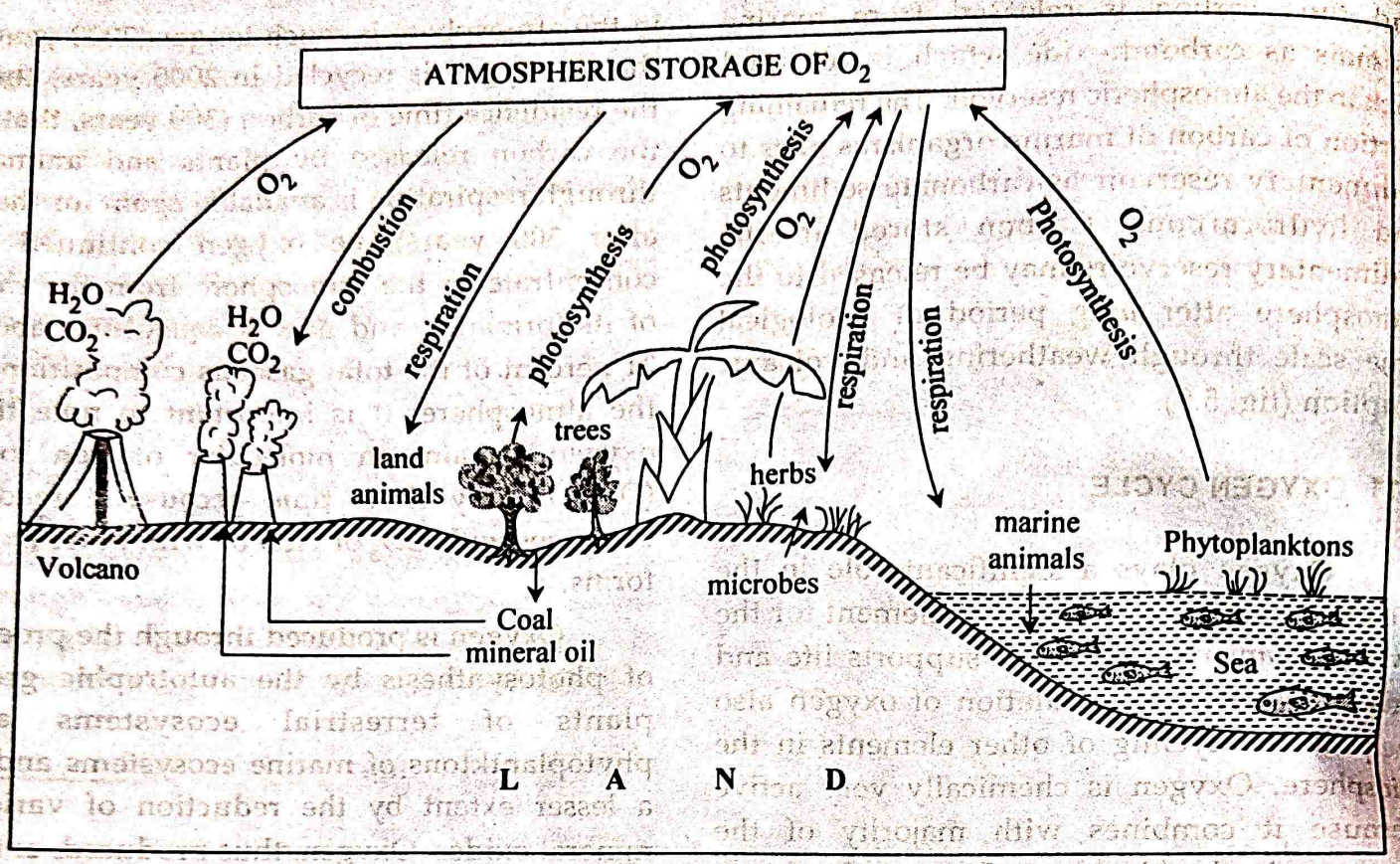


Fig. 5.10 : Illustration of simplified oxygen cycle.

The consumption of oxygen has increased after the Industrial Revolution in 1860. It is estimated that very high rate of industrial combustion in the industrialized world, mainly the U.S.A. and the Western Europe, uses more oxygen annually. Since the proportion of vegetation cover is decreasing and the industrial expansion is increasing, the imbalance betweeen the amount of consumed and regenerated oxygen may be serious concern to human society.

5.12 NITROGEN CYCLE

'Nitrogen moves through the biosphere in a gaseous cycle in which the atmosphere, containing 78 percent nitrogen by volume, is a vast storage pool available to organisms' (A.N. Strahler and A.H. Strahler, 1976). Nitrogen is very important for all life forms in the biosphere because it is an essential part of amino acids which make up proteins. Nitrogen generally exists in seven forms in the atmosphere e.g. molecular nitrogen (N_2), oxides of nitrogen (e.g. N_2O = nitrous oxide, NO = nitric oxide and NO_2 = nitrogen peroxide) and hydrogen-nitrogen compounds (e.g. NH = amino, NH_3 = ammonia and HNO_2 = nitrous acids). Though nitrogen constitutes the largest proportion of atmospheric gases by volume, but living organisms cannot use nitrogen directly rather they obtain nitrogen in the form of ammonium salts and nitrate through their roots from the soils. Animals get nitrogen from the plants by eating them. The nitrogen cycle involves the conversion of atmospheric nitrogen into different usable compounds (which become usable for living organisms) under the process of **nitrogen fixation;** transfer of nitrogen to the plants through their roots from the soils and liberation of nitrogen as gas through the process of denitrification and final return of

nitrogen as gas to the atmospheric storage pool of nitrogen. The nitrogen cycle is completed through the following steps :

(1) Transfer of atmospheric nitrogen into soils or nitrogen fixation—Nitrogen fixation means the conversion of the atmospheric molecular nitrogen (N_2) into usable forms (e.g. ammonia and nitrate) in the soils which can be taken by the plants through their roots-the process known as **root osmosis.** There are only two major natural pathways of nitrogen fixation or conversion of molecular atmospheric nitrogen into ammonia, nitrate ion or amino acids e.g. (i) **lightning,** and (ii) **biological activity.** There is also **artificial fixation of nitrogen** by man through the use of chemial fertilizers.

(2) Mineralization, nitrification and transfer of nitrogen from soils to plants and animals : Mineralization and nitrification are the processes of transformation of nitrogen in such forms in the soils that these can be easily taken up by plants. When organic nitrogenous compounds are transformed into an inorganic or mineral form (either ammonia or ammonium), the process is called mineralization or **ammonification** where as the process of the conversion of ammonium salts into nitrite and nitrate is called **nitrification.** Thus plants take nitrogen in the form of nitrates from the soils through their roots. Nitrogen taken up by plants (in the form of nitrates) is transformed into complex organic compounds (e.g. protein) which are transferred to herbivorous animals of trophic level 2 where plant protein (having nitrogen) is converted into animal protein. Again nitrogen (in the form of animal protein) is transferred to carnivorous animals at trophic levels 3 and

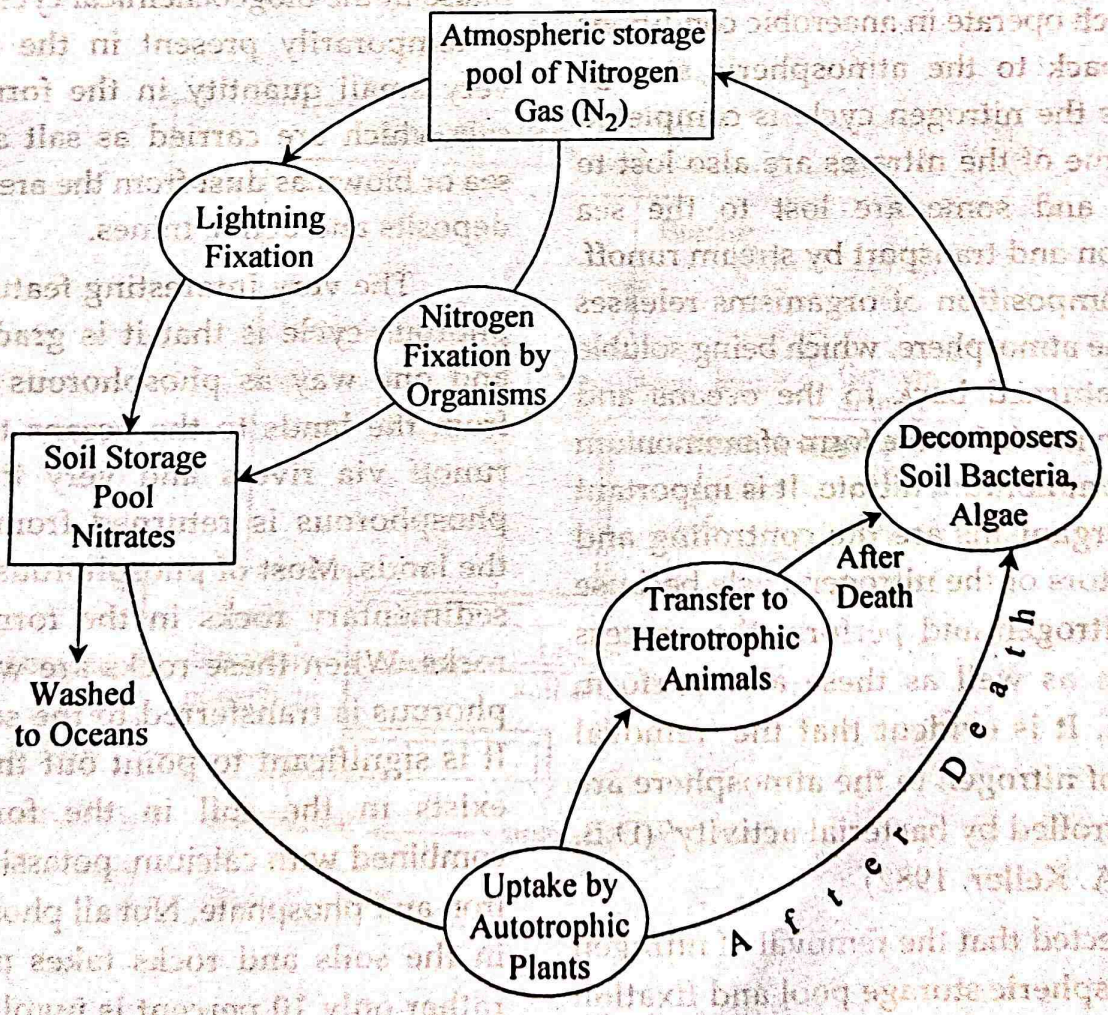


Fig. 5.11 : Nitrogen cycle.

4. The protein disintegrates in the bodies of organisms and is transformed into amino acid, urea etc.

(3) Denitrification and return of nitrogen to the atmosphere : Ammonifying bacteria living in the soils convert amino acid and urea present in the excreted wastes of the animals into ammonia and ammonium salts. Similarly, soil-living bacteria decompose dead plants or their parts and dead animals and transform amino acid and urea present in them into ammonia and ammonium salt. These ammonium salts and ammonia are again transformed into nitrates by nitrifying or nitrosifying bacteria, the process being known as **nitrification** as referred to above.

The opposite process of nitrification is known as **dinitrification** which means transformation of nitrates into gaseous nitrogen (molecular nitrogen) by denitrifying bacteria and fungi which operate in anaerobic conditions which goes back to the atmospheric storage pool and thus the nitrogen cycle is completed (fig. 5.11). Some of the nitrates are also lost to groundwater and some are lost to the sea through erosion and transport by stream runoff. Bacterial decomposition of organisms releases ammonia to the atmosphere, which being soluble in water is returned back to the oceans and continents with rainfall in the form of ammonium sulphate and ammonium nitrate. It is important to note that organisms are the controling and regulating factors of the nitrogen cycle because bacteria fix nitrogen and perform the process of nitrification as well as these also perform denitrification. It is evident that the 'removal and addition of nitrogen to the atmosphere are primarily controlled by bacterial activity' (D.B. Botkin and E.A. Keller, 1982).

It is expected that the removal of nitrogen from the atmospheric storage pool and fixation of nitrogen by terrestrial and marine organisms should be balanced by the addition of nitrogen through denitrification from the terrestrial and marine ecosystems but the amount of nitrogen available to plants is much larger than the amount of nitrogen returned back to the atmopsheric storage pool by denitrification because of increased use of industrial nitrogen (chemical fertilizers).

5.13 PHOSPHOROUS CYCLE

Phosphorous is the second most important (water being the most important) substance in the biosphere which is most essential for the growth of organisms because it limits production in the biospheric ecosystem. Phosphorous is in short supply as it is found in phosphate rocks which are restricted to very limited areas over the globe. Phosphorous is such a chemical element (mineral) which has a very limited gaseous phase and has major sedimentary phase in the biogeochemical cycle. Phosphorous is temporarily present in the atmosphere in very small quantity in the form of dust and salt which are carried as salt spray from the sea or blown as dust from the areas of phosphate deposits and active mines.

The very interesting feature of the phosphorous cycle is that it is gradual, very slow and one way as phosphorous tends to move from the lands to the oceans through surface runoff via rivers and very little amount of phosphorous is returned from the oceans to the lands. Most of phosphorous is stored in the sedimentary rocks in the form of phosphate rocks. When these rocks are weathered, phosphorous is transferred to the soil storage pool. It is significant to point out that phosphorous exists in the soil in the form of minerals combined with calcium, potassium, magnesium, iron and phosphate. Not all phosphorous present in the soils and rocks takes part in the cycle rather only 10 percent is involved in the cyclic pathways because phosphorous is relatively insoluble in water.

Plants take up phosphorous in the form of inorganic phosphate from the soils through their roots under the process of root osmosis. The inorganic phosphates are converted into organic forms in the plants which (organic forms of phosphate) are circulated in the food chain through different trophic levels (from plants to herbivorous animals and from herbivores to carnivorous and omnivorous animals). Phosphate is returned back to the soils when dead organisms (plants and animals) and their excreted wastes are decomposed by soil-organisms (decomposer organisms-microbes) and through mineralization of organic form of phosphate (i.e. conversion of organic form of phosphate to inorganic form). Some portion is leached and washed out to the oceans while some portions of phosphate are maintained as organic compounds (e.g. bones) which store and preserve phosphatic materials for long period. These are returned to the soils when these are again converted into mineral forms but this process is completed after long period of time. It is also important to state that a sizeable portion of phosphate absorbed by the plants remains in inorganic form in the plants and therefore this inorganic form of phosphate is mineralized after decomposition of plants in a relatively shorter period of time (fig. 5.12).

The return of phosphorous from the oceans to the lands is not regular feature rather it is exceedingly slow and occasional feature. Phosphorous brought to the littoral areas of the seas and the oceans is returned back to the lands through salt spray, fish (when eaten by terrestrial animals mainly man) and birds but major portion of phosphorous drained to the seas and the oceans is moved in the deeper sediments. In such cases, phosphorous may be available again only when there is emergence or upliftment of oceanic bottoms.

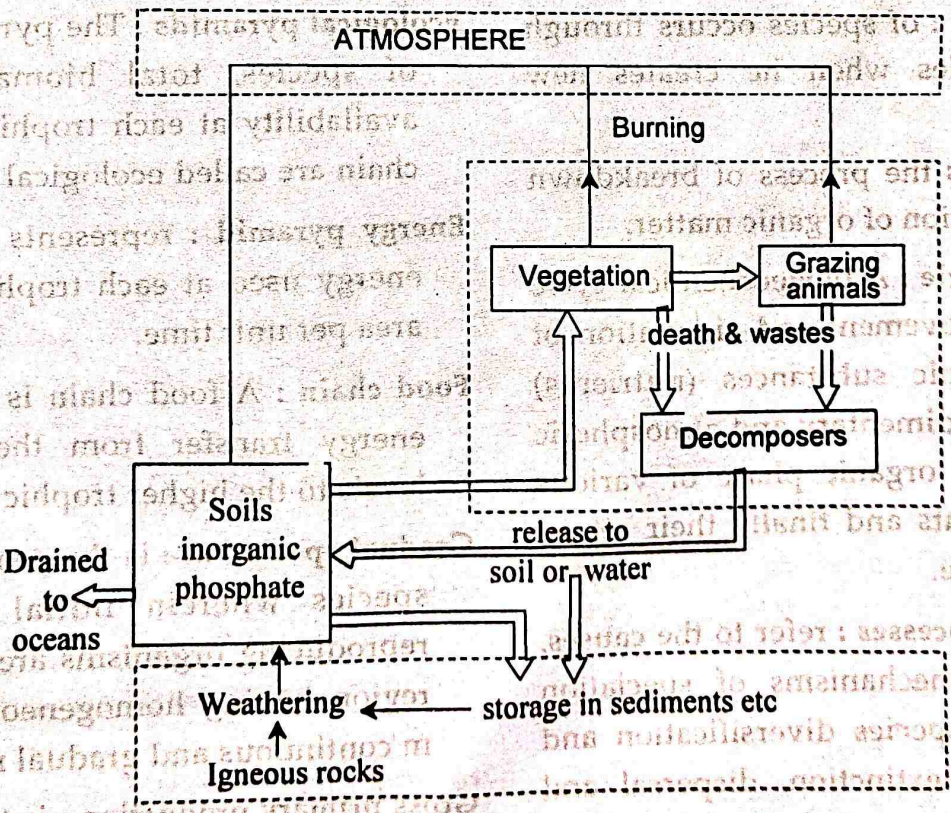


Fig. 5.12 : The phosphorous cycle (based on E.P. Odum, 1971).

It is estimated that an amount of 20,000,000,000 million meteric tonnes of phosphorous is stored in the rocks of the earth's crust but only 10,000 to 60,000 million meteric tonnes are minerable by conventional techniques, while ocean deposits account for 100,000,000 million metric tonnes of phosphorous. Since there is gradual removal of phosphorous from the lands to the oceans and there is very slow, almost negligible, return of phosphorous from the oceans to the lands, the amount of terrestrial phosphorous is gradualy decreasing whereas the demand of phosphorous by plants is increasing. Since phosphorous is the most critical element for the plants, additional phosphorous in the form of industrial fertilizers is added to the soils by man.

5.9 जलीय चक्र
(Hydrological Cycle)

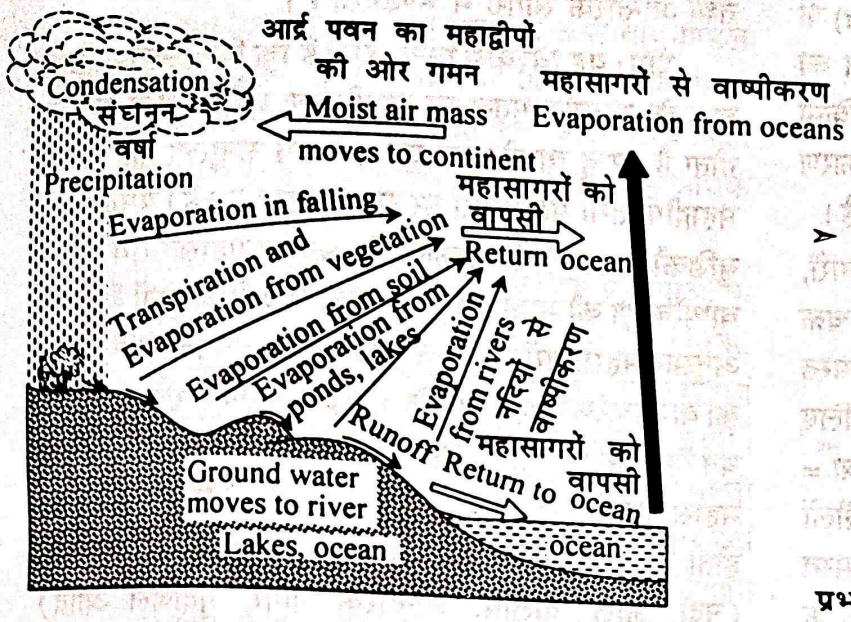
जीवमण्डल में जीवित जीवों के अस्तित्व के लिये आक्सीजन, कार्बन तथा हाइड्रोजन अत्यधिक महत्वपूर्ण तत्व होते हैं क्योंकि ये जैविक पदार्थों के शुष्क वजन का लगभग 90 प्रतिशत भाग का निर्माण करते हैं। इनमें से जल के रूप में हाइड्रोजन तथा आक्सीजन सम्मिलित रूप से समस्त जीवों के सकल भार के 80.5 प्रतिशत भाग का प्रतिनिधित्व करते हैं। जीवमण्डल में हाइड्रोजन का निवेश जल के रूप में होता है अतः इस तत्व के चक्र को जलीय चक्र के रूप में व्यक्त किया जाता है। जीवमण्डल में जल सर्वाधिक महत्वपूर्ण तत्व

होता है। इसका निर्माण हाइड्रोजन के दो एटम (H_2) तथा आक्सीजन के एक एटम (O) के मिलने से होता है (H_2O)। यह तत्व जीवमण्डल में अत्यधिक मात्रा में मिलता है यद्यपि इसके स्थानिक वितरण (spatial distribution) में पर्याप्त विभिन्नतायें पायी जाती हैं। जल विभिन्न रूपों में पाया जाता है, यथा :

- गैसीय या वाष्प रूप में (जलवाष्प तथा आर्द्रता),
- ठोस रूप में (हिम),
- तरल रूप में (जल)। जल विभिन्न अवस्थितियों में पाया जाता है यथा : झील, नदी, सागर एवं महासागर, भूमिगत जल, धरातलीय शैलों एवं मिट्टियों में भण्डारित जल, जीवित जीवों एवं जैविक पदार्थों में तरल रूप में, वायुमण्डल में जल वायु के रूप में तथा उच्च अक्षांशों (ध्रुवीय क्षेत्रों) तथा उच्च पर्वतीय भागों में हिम के रूप में आदि। जल जीवमण्डल में जीवों के लिए एक अत्यधिक महत्वपूर्ण तत्व होता है क्योंकि
- यह प्रायः सभी तत्वों को घुलाने में समर्थ होता है;
- यह ऊष्मा को भण्डारित करने की अधिक क्षमता रखता है;
- यह विभिन्न जीवों (पौधे तथा जन्तु) के पोषण में भरपूर सहयोग करता है;
- यह जीवमण्डल में तत्वों के संरचरण में सहायक होता है आदि।

विश्वस्तरीय जलीय चक्र में निम्न क्रियाविधियाँ (mechanisms) अधिक महत्वपूर्ण होती हैं :

- सूर्यातप के माध्यम से सागरीय जल का वाष्पीकरण;
- जल का जलवाष्प या आर्द्रता में रूपान्तरण;
- वायुमण्डल में वायु के संचार द्वारा वायुमण्डल में स्थित जलवाष्प का महासागरों तथा महाद्वीपों के ऊपर परिवहन;
- वायुमण्डलीय आर्द्रता का संघनन (condensation);
- वायुमण्डलीय जलवाष्प का वर्षण (precipitation) के रूप में महाद्वीपों तथा महासागरों के ऊपर विमोचन (वर्षण तीन रूपों में हो सकता है : तरल रूप में, यथा, जलवर्षा; ठोस रूप में, यथा, हिम; अन्य गौण रूपों में, यथा, ओस, कुहरा आदि), तथा
- धरातल पर प्राप्त जल का विभिन्न माध्यमों (जैसे नदी) से अन्ततः महासागरों में वापसी (चित्र 5.7)।



चित्र 5.7 : जलीय चक्र के अन्तर्गत जल के विभिन्न रूपों में सागर से वायुमण्डल में, वायुमण्डल से धरातल पर तथा धरातल से पुन: सागर में गमन मार्गों का प्रदर्शन।

विश्वस्तरीय जलीय चक्र की क्रियाविधि (mechanism) को निम्न रूपों में व्यक्त किया जा सकता है :

महासागरीय जल सूर्यातप द्वारा गर्म होता है, अत: सागरीय जल के कुछ भाग का वाष्पीकरण होता है। इस तरह (जलवाष्प का) वायुमण्डलीय आर्द्रता का निर्माण होता है। इस जलवाष्प का हवाओं द्वारा महासागरों एवं महाद्वीपों के ऊपर परिवहन होता है। बाद में ऊपर उठती हवाओं के कारण वायु में स्थित नमी का संघनन हो जाता हैं तथा वर्षण (precipitation) प्रारम्भ हो जाता है। धरातल पर वर्षण की क्रिया कई रूपों में सम्पन्न होती है :

- कुछ वर्षा सीधे नदियों, झीलों तथा अन्य स्थलस्थित जलभण्डारों में होती है। इसे **प्रत्यक्ष वर्षा** या **सीधा वर्षण** (direct fall) कहते हैं। इस वर्षा के जल का नदियों द्वारा सीधे सागरों में विलय हो जाता है।
- जल वर्षा के कुछ भाग का वनस्पतियों खासकर वनों के वितान (ऊपरी भाग, canopy) द्वारा **अन्तरारोधन** (interception) हो जाता है। इस अन्तरारोधित अर्थात् वृक्षों के सबसे ऊपरी भागों द्वारा वर्षा की रोकी गयी मात्रा के कुछ भाग का वाष्पीकरण हो जाता है तथा शेष भाग वृक्षों की शाखाओं तथा वनों से होकर **तना प्रवाह** (stem flow) या **हवाई सरिता** (aerial streamlets) के रूप में जमीन तक पहुँचता है।
- जलवर्षा का कुछ भाग वनस्पतिविहीन या विरल वनस्पति वाले भागों में सीधे जमीन पर पहुँचता (throughfall) है। जल वर्षा के कुछ भाग का वनस्पतियों द्वारा **वाष्पोत्सर्जन** (evapotrans-piration) होने से क्षय हो जाता है तथा कुछ जल का नदियों, तालाबों, झीलों आदि से वाष्पीकरण द्वारा वायुमण्डल में क्षय हो जाता है।

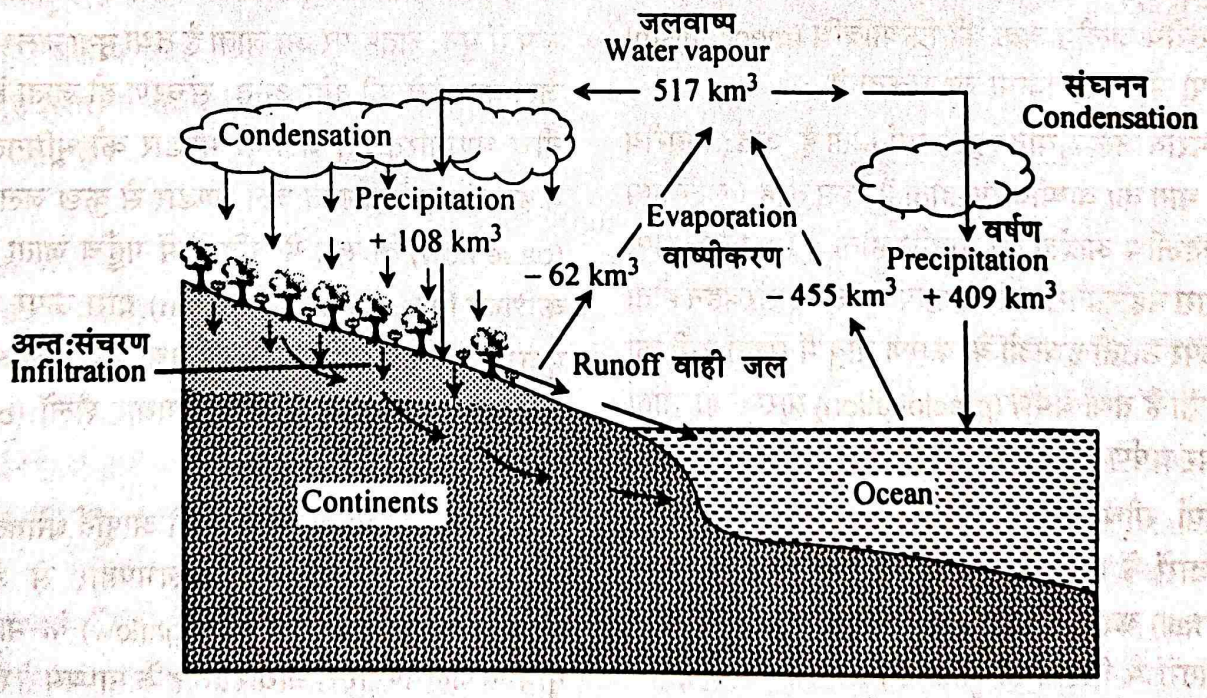
धरातल पर प्राप्त होने वाली जलवर्षा का एक बड़ा भाग **प्रभावी स्थल प्रवाह** (effective overlandflow) का रूप धारण कर लेता है। धरातलीय सतह पर फैलकर बहने वाले जल को **वाहीजल** (runoff) भी कहते हैं। यह भूसतह की नदियों में मिल जाता है। वर्षा के जल के कुछ भाग का भूसतह के नीचे **अन्त: संचरण** (infiltration) हो जाता है जो मिट्टियों में भण्डारित होता है। मृदा में स्थित इस जल के भण्डार को **मृदाजल भण्डार** कहते हैं। इस मृदा जल भण्डार से कुछ जल का वाष्पीकरण द्वारा तथा कुछ जल का पौधों से वाष्पोत्सर्जन द्वारा वायुमण्डल में क्षय हो जाता है। कुछ जल चश्मों एवं सोतों (springs) के रूप में पुन: सतह पर आ जाता है तथा **मृदा जलभण्डार** के कुछ जल का नीचे की ओर अन्त: संचरण हो जाता है। धरातल के नीचे भण्डारित इस जल के भण्डार को **भूमिगत जल भण्डार** कहते हैं। इस भूमिगत जल भण्डार से कुछ जल **आधार प्रवाह** (base flow) के रूप में नदियों में पहुँच जाता है, कुछ जल **केशिका क्रिया** (capillary action) द्वारा ऊपर उठता है तथा **मृदा जल भण्डार** से मिल जाता है तथा कुछ जल और नीचे चला जाता है तथा गहराई में स्थित आधार शैलों (bedrocks) में अवरुद्ध हो जाता है।

सरिता जलभण्डार में जल की आपूर्ति **धरातलीय वाही जल** (surface runoff) से, मृदा जलभण्डार से **अन्त:वाह** एवं **सीधावाह** (interflow तथा throughflow) के माध्यम से तथा भूमिगत जलभण्डार से **आधार प्रवाह** के माध्यम से होती है। वर्षण के (आगम) निवेश (input) का दो मार्गों से बहिर्गमन (exit) हो जाता है : (1) नदियों, तालाबों, झीलों, मिट्टियों आदि से जल के वाष्पीकरण, वनस्पतियों के वाष्पोत्सर्जन

(evapotranspiration) तथा जलवर्षा के धरातल पर पहुँचने से पहले वाष्पीकरण द्वारा जल का जलवाष्प (water vapour) के रूप में वायुमण्डल में वापसी, तथा (2) धरातलीय जल का नदियों द्वारा सागरों एवं महासागरों में वापसी। इस समस्त प्रक्रिया की विश्वस्तर पर प्रतिवर्ष पुनरावृत्ति होती रहती है जिस कारण विश्वस्तरीय जलीय चक्र प्रभावी रूप में क्रियाशील रहता है।

ज्ञातव्य है कि यद्यपि सभी जलीय प्रक्रियायें महासागरों, महीद्वीपों तथा वायुमण्डल से होकर विश्वस्तरीय जलीय चक्र को कार्यान्वित करती हैं परन्तु जीवमण्डल में स्थित समस्त आर्द्रता का 95 प्रतिशत भाग विश्वस्तरीय जलीय चक्र के लिए भी सुलभ नहीं हो पाता है क्योंकि यह (अनुमानित मात्रा = $2,50,000 \times 10^{20}$ ग्राम) जल की मात्रा पृथ्वी की क्रस्ट की शैलों में सदा के लिए बन्द रहती है। इस तरह जीवमण्डल की समस्त नमी का मात्र 5 प्रतिशत भाग ही विश्वस्तरीय जलीय चक्र के लिए सुलभ हो पाता है। जीवमण्डलीय समस्त नमी के इस 5 प्रतिशत (जिसे अब 100 प्रतिशत के रूप में लिया जा रहा है) का लगभग 97.2 प्रतिशत महासागरों में भण्डारित है तथा शेष 2.8 प्रतिशत नमी में से 2.15 प्रतिशत नमी ध्रुवीय हिमटोपियों एवं स्थायी हिमनदों में भण्डारित है, 0.62 प्रतिशत नमी भूमिगत जल के रूप में है (यह जल जलीय चक्र के लिए सुलभ होता है) तथा 0.03 प्रतिशत नमी नदियों, मिट्टियों, झीलों, तालाबों तथा आन्तरिक सागरों में भण्डारित है।

प्राय: यह विश्वास किया जाता है कि विश्वस्तरीय जलीय चक्र के अन्तर्गत भूतल पर वाष्पीकरण एवं वर्षण में सन्तुलन होता है परन्तु वाष्पीकरण एवं वर्षण में सन्तुलन का प्रतिरूप महाद्वीपों तथा महासागरों पर समान नहीं होता है। यम० आई० बुडिको (1971) के आकलन के अनुसार महासागरीय क्षेत्रों में वाष्पीकरण की मात्रा वर्षण की मात्रा से अधिक होती है। इनके अनुसार महासागरों से प्रतिवर्ष 4,55,000 घन किलोमीटर जल का वाष्पीकरण होता है जबकि वर्षा द्वारा प्रतिवर्ष मात्र 4,09,000 घन किलोमीटर जल ही महासागरों में वापस आता है। इस तरह महासागरों से प्रतिवर्ष 46,000 घन किलोमीटर जल की हानि होती है। दूसरी तरफ स्थलीय भागों के विभिन्न जलभण्डारों (नदी, झील, तालाब, आन्तरिक सागर, मृदाजल आदि) से प्रतिवर्ष 62,000 घन किलोमीटर जल का वाष्पीकरण होता है परन्तु वर्षा द्वारा स्थलीय भागों पर प्रतिवर्ष 1,08,000 घन किलोमीटर जल प्राप्त होता है। इस तरह स्थलीय भागों पर प्रतिवर्ष 46,000 घन किलोमीटर अतिरिक्त जल की प्राप्ति होती है। यह अतिरिक्त जल (46,000 घन किमी०) नदियों द्वारा महासागरों में वापस पहुँच जाता है। ज्ञातव्य है कि



चित्र 5.8 : विश्वस्तरीय जल संतुलन का प्रदर्शन। आंकड़े हजार घन किलोमीटर में हैं (M.I. Bodyko, 1971 द्वारा प्रस्तुत आंकड़ों पर आधारित)।

महासागरों के वाष्पीकरण द्वारा जितना जल जलवाष्प के रूप में (4,55,000 घन किलोमीटर) महासागरों के ऊपर वायुमण्डल में पहुँचता है उसका कुछ भाग (46,000 घन किमी०) वायुमण्डलीय पवन संचार द्वारा महाद्वीपों के ऊपर पहुँच जाता है, अत: महाद्वीपों पर कुल वाष्पीकरण से वर्षा की मात्रा अधिक होती है (चित्र 5.8)।

जलीय चक्र जीवमण्डल में विभिन्न जैविक प्रक्रियाओं के लिए अति महत्वपूर्ण क्रियाविधि है क्योंकि जल के बिना किसी भी तरह का जीवन सम्भव नहीं है। यद्यपि जलीय चक्र एवं वनस्पतियों के मध्य पारस्परिक क्रियायें सीमित होती हैं तथापि वनस्पतियों के माध्यम से जलीय चक्र का जीवमण्डल पर महती प्रभाव पड़ता है क्योंकि जैवभूरसायन चक्र के अन्तर्गत अवसादों एवं रासायनिक तत्वों के संचरण में वनस्पतियाँ प्रभावी माध्यम (medium) होती हैं तथा जीवमण्डल में जैवभूरसायन चक्र या तो सम्मिलित रूप से या एकाकी रूप से जल के संचरण द्वारा ही सम्भव हो पाते हैं। यद्यपि वर्तमान समय तक मनुष्य ने अपने कार्यों द्वारा विश्वस्तरीय जलीय चक्र को बड़े स्तर पर कुप्रभावित नहीं किया है परन्तु मनुष्य की आर्थिक गतिविधियाँ जिस तरह बढ़ती जा रही हैं और उसकी प्रौद्योगिकी में जिस तरह पैनापन आता जा रहा है उससे यह स्पष्ट आभास मिलता है कि मनुष्य निकट भविष्य में जलीय चक्र को **कुप्रभावित** कर सकता है। मनुष्य निम्न रूपों में जलीय चक्र के विभिन्न संघटकों को प्रभावित करता है :

- मनुष्य जलीय चक्र के **वायुमण्डलीय संघटक** में कई प्रकार से परिवर्तन करने के लिए समर्थ है। मनुष्य द्वारा इच्छित एवं अनिच्छित कार्यों के माध्यम से वायुमण्डल में कई तरह के परिवर्तन सम्भव हैं। यथा : मौसम सुधार कार्यक्रम, वायुमण्डल में ओजोन के स्तर में कमी, वायुमण्डल में जलवाष्प की मात्रा में परिवर्तन आदि द्वारा वायुमण्डलीय संचार प्रतिरूप (atmospheric circulation pattern) में परिवर्तन हो सकता है और इस वायुमण्डलीय संचार प्रतिरूप में परिवर्तन के कारण स्थलीय एवं महासागरों के ऊपर जलवाष्प के गमन तथा स्थानान्तरण में परिवर्तन हो सकता है। इस तरह वायुमण्डल में जलवाष्प में परिवर्तन होने से वर्षण प्रभावित हो सकता है।
- जलीय चक्र के **वर्षण संघटक** (precipitation component) में वायुमण्डल में धूलिकणों की मात्रा में परिवर्तन द्वारा अन्तर हो सकता है। मनुष्य द्वारा निर्मित कारखानों से अधिकाधिक मात्रा में ठोस कणों (particulate matter) का वायुमण्डल में विमोचन होता है। ये ठोस कण वर्षा की बूँदों के निर्माण के लिए **आर्द्रताग्राही नाभिक** (hygroscopic muclei) का कार्य करते हैं। इस तरह वायुमण्डल में **ठोस कण प्रदूषण** (particulate pollution) द्वारा बादलों का निर्माण तथा वर्षा का रूप एवं मात्रा प्रभावित होती है। **मेघ बीजन** (cloud seeding) द्वारा वर्षा की मात्रा बढ़ायी जा सकती है। वन विनाश द्वारा वर्षा की मात्रा घटती है।
- मनुष्य ने अपने क्रियाकलापों द्वारा जलीय चक्र के **वाष्पीकरण संघटक** को बड़े पैमाने पर प्रभावित किया है। वन विनाश, नगरीकरण आदि क्रियाओं द्वारा वाष्पीकरण में ह्रास होता है तथा बांध एवं जलभण्डारों के निर्माण, वृक्षारोपण, फसलों की सिंचाई आदि द्वारा वाष्पीकरण में वृद्धि होती है।
- मनुष्य जलीय चक्र के **धरातलीय वाही जल संघटक** (surface runoff component) को कई तरह से प्रभावित करता है। वन विनाश तथा नगरीकरण द्वारा वाही जल में वृद्धि होती है।
- जलीय चक्र के **अन्त: संचरण संघटक** (infiltraton component) में वन विनाश (अन्त: संचरण में ह्रास), वृक्षारोपण (अन्त: संचरण में वृद्धि), सिंचाई (अन्त: संचरण में वृद्धि) आदि द्वारा परिवर्तन होता है।

5.10 कार्बन चक्र

जीवमण्डल में कार्बन का विभिन्न मार्गों से गमन तथा संचरण होता है। इस संचरण के दौरान कार्बन के भण्डार तथा गमन की तीन प्रावस्थायें होती हैं : (i) **गैसीय प्रावस्था :** इस प्रावस्था के अन्तर्गत कार्बन (C) वायुमण्डल में गैस रूप (CO_2) में होता है। (ii) **तरल प्रावस्था** के अन्तर्गत कार्बन जल में घुली अवस्था में होती है। (iii) **ठोस प्रावस्था** के अन्तर्गत कार्बन ठोस रूप में होता है जो अवसादों, जीवाश्म ईंधनों (fossil fuels) तथा जैविक पदार्थों में भण्डारित होता है। जीवमण्डल में कार्बन के ठोस, तरल तथा गैसीय (CO_2) रूपों में संचरण का अत्यधिक महत्व होता है क्योंकि जैविक पदार्थों के सकल शुष्क भार का 50 प्रतिशत भाग कार्बन का होता है।

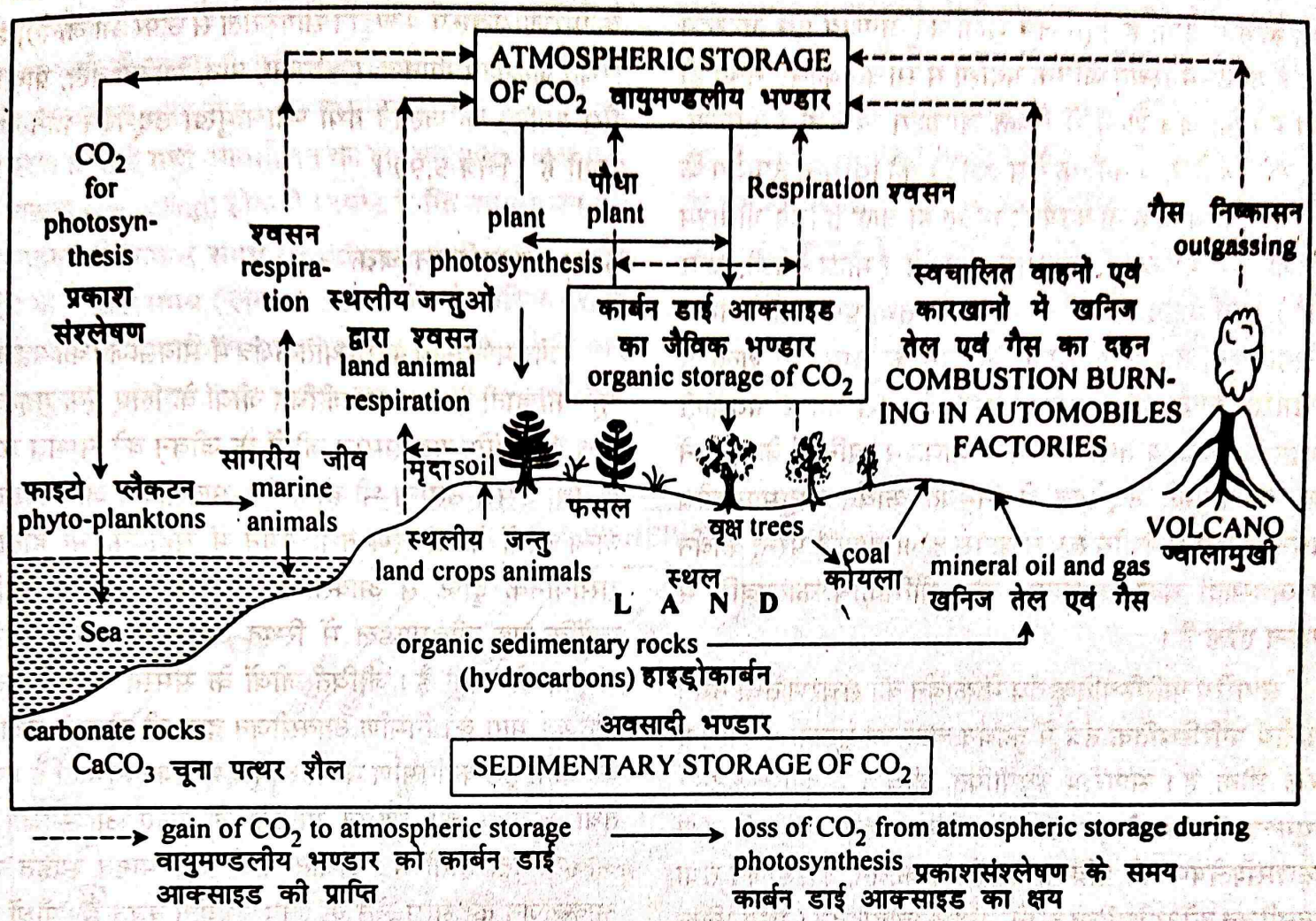
जीवमण्डल में कार्बन का गमन ऊर्जा प्रवाह के साथ सम्बन्धित होता है।

जीवमण्डल में कार्बन का संचरण दो मार्गों या चक्रों से सम्पन्न होता है : (1) **गैसीय चक्र**, तथा (2) **अगैसीय या अकार्बनिक चक्र**। गैसीय चक्र में कार्बन का गैसीय रूप यानी कार्बन डाइआक्साइड (CO_2) के रूप में संचरण एवं गमन होता है। कार्बन डाइ आक्साइड वायुमण्डल में स्वतन्त्र गैस के रूप में तथा स्थलीय एवं सागरीय जल में घुले रूप में होती है। **अगैसीय या अकार्बनिक चक्र** में कार्बन ठोस प्रावस्था में होता है। कार्बन की स्थिति जैविक तत्वों में कार्बोहाइड्रेट अणु (CH_2O) के रूप में, पृथ्वी की क्रस्ट की शैलों में हाइड्रोजन के रूप में तथा खनिज कार्बोनेट यथा कैल्सियम कार्बोनेट के रूप में होती है।

वायुमण्डलीय कार्बन डाइ आक्साइड का जैविक चक्रों (biological cycles) में प्रवेश **प्रकाशसंश्लेषण** (photosynthesis) की प्रक्रिया द्वारा होता है। अर्थात् स्वपोषित प्राथमिक उत्पादक हरे पौधे सूर्य प्रकाश की सहायता से कार्बन डाइ आक्साइड, हाइड्रोजन तथा आक्सीजन को संयुक्त करके जैविक यौगिकों (organic compounds) का निर्माण करते हैं। इस तरह निर्मित जैविक यौगिकों को आहार ऊर्जा या रासायनिक ऊर्जा कहते हैं तथा इस आहार ऊर्जा के निर्माण की सम्पूर्ण प्रक्रिया को **प्रकाशसंश्लेषण** कहते हैं। जीवमण्डलीय पारस्थितिकीय तंत्र में ऊर्जा का प्रवाह तथा तत्वों का संचरण पारिस्थितिक तंत्र के विभिन्न संघटकों द्वारा नियंत्रित होता है। जिस संघटक से ऊर्जा तथा तत्व निकलकर दूसरे संघटक में जाते हैं उस संघटक को **दाता संघटक** (donor component) तथा जिस संघटक में ऊर्जा तथा तत्वों का प्रवेश होता है उस संघटक को **पाता संघटक** (recipient component) कहते हैं। कार्बन चक्र के सन्दर्भ में वायुमण्डल **दाता संघटक** होता है तथा जैविक संघटक पाता संघटक होता है। जीवमण्डल में कार्बन चक्र के अन्तर्गत **वायुमण्डलीय कार्बन भण्डार** (दाता संघटक) से कार्बन के जीवित जीवों या **जैविक कार्बन भण्डार** (पाता संघटक) में स्थानान्तरण की प्रक्रिया **दाता-नियंत्रित** (donor controlled) तथा **पाता-नियंत्रित** (recipient controlled) दोनों होती है। उदाहरण के लिए हरे पौधों (पाता) द्वारा वायुमण्डलीय कार्बन भण्डार (दाता) से कार्बन ग्रहण की दर वनस्पतियों के घनत्व तथा पौधों के कार्य-कलाप से निर्धारित होती है (यह पाता-नियंत्रित स्थानान्तरण का उदाहरण है), साथ ही साथ वायुमण्डल में कार्बन डाइ आक्साइड के सान्द्रण (दाता संघटक), अन्य पर्यावरणीय कारक (प्रकाश, जल पोषक तत्व आदि) एवं प्रक्रियायें भी कार्बन के पौधों में स्थानान्तरण की दर को प्रभावित करती हैं (यह दाता-नियंत्रित स्थानान्तरण का उदाहरण है)।

इस तरह पौधों द्वारा प्राप्त तथा आत्मसात की गयी (assimilated) कार्बन डाइ आक्साइड का पौधों में भण्डारन होता है। कार्बन के इस भंडार को **जैविक कार्बन भण्डार** कहते हैं। वन मुख्य रूप से उष्ण कटिबन्धी सदाबहार वर्षा वन, शीतोष्ण कटिबन्धी सदाबहार एवं पर्णपाती वन तथा टैगा वन जीवमण्डलीय पारिस्थितिक तंत्र में जैविक कार्बन के महत्वपूर्ण भण्डार होते हैं। जीवित जीवों (पौधों तथा जन्तुओं) में श्वसन (respiration) के समय कार्बोहाइड्रेट के विघटन (break-down) होने से कार्बन का वायुमण्डल में विमोचन (release) होता है। वास्तव में श्वसन द्वारा जीवित जीव जैविक यौगिकों को गैसीय कार्बन (CO_2) में परिवर्तित करते हैं तथा इस तरह निर्मुक्त गैसीय कार्बन वायुमण्डल में पुनः वापस चली जाती है तथा **वायुमण्डलीय कार्बन भण्डार** से मिल जाती है। पी० ए० फर्ली एवं डब्लू० डब्लू० निवे (1983) ने व्यक्त किया है कि जिस रफ्तार से कार्बन जीवमण्डल से निर्मुक्त होकर वायुमण्डल में जाती है लगभग उसी रफ्तार से वह जीवमण्डल में वापस भी आ जाती है परन्तु विगत कुछ दशकों से वायुमण्डल में कार्बन का सान्द्रण (concentration) तेजी से बढ़ रहा है। अर्थात् जब जीवित जीव क्रियाशील होते हैं तो उनके अन्तर्गत कार्बोहाइड्रेट का विघटन होता है तथा श्वसन के द्वारा पौधों में संचित कार्बन मुक्त होकर वायुमण्डल में चला जाता है परन्तु पौधे उसे प्रकाश संश्लेषण के दौरान पुनः ग्रहण कर लेते हैं। विगत दशकों में वन विनाश इतनी तेजी से हुआ है कि वायुमण्डलीय कार्बन का पौधों द्वारा सेवन कम हो गया है, अतः वायुमण्डल में कार्बन का सान्द्रण बढ़ रहा है। वायुमण्डलीय कार्बन की वृद्धि में औद्योगिक कारखानों से निकली CO_2 भी सहायक हो रही है।

पोषण स्तर एक के स्वपोषित हरे पौधों द्वारा उत्पादित कार्बोहाइड्रेट (रासायनिक ऊर्जा) के कुछ हिस्से का आहार शृंखला के विभिन्न पोषण स्तरों के जीवों द्वारा सेवन किया जाता है। ये परपोषित जन्तु (heterotrophic animals, शाकभक्षी, मांशभक्षी तथा सर्वभक्षी जन्तु) श्वसन के समय कार्बोहाइड्रेट के विघटन होने पर कार्बन छोड़ते हैं (चित्र 9.7)। इस तरह विमोचित या निर्मुक्त कार्बन वायुमण्डल में पुनः वापस चली



चित्र 5.9 : कार्बन चक्र का आरेखीय प्रदर्शन।

जाती है। मृदावासी वियोजक सूक्ष्म जीव (decomposers) गिरी हुई पत्तियों के ढेरों (पर्णढेर leaf lifters) तथा पौधों एवं जन्तुओं के मृत भागों के वियोजन (decomposition) के समय आक्सीकरण के कारण कार्बन पुनः कार्बन डाइ आक्साइड में बदल जाती है तथा वायुमण्डल में पुनः वापस चली जाती है। वनस्पतियों तथा जन्तुओं के जलने पर कुछ कार्बन का कार्बन डाइ आक्साइड (CO_2) के रूप में विमोचन हो जाता है तथा इस तरह निर्मुक्त (released) CO_2 वायुमण्डलीय भण्डार में पुनः वापस चली जाती है। मृत जैविक पदार्थों के वियोजन के समय वियोजक जीव भी श्वसन के समय कार्बन का गैसीय रूप (CO_2) में विमोचन करते हैं।

कुछ कार्बन सतह के नीचे अवसादों में चला जाता है तथा वहाँ पर **अवसादी कार्बन भण्डार** में संचित होता रहता है। मृत जैविक पदार्थों का कुछ भाग मिट्टियों में या गहरे सागरस्थित अवसादों में दीर्घकाल तक भण्डारित रहता है। स्थलीय जैविक पदार्थों का घोल रूप में या ठोस कणों के रूप में भौमिकीय प्रक्रमों (यथा, नदी) द्वारा सागरों तक परिवहन होता है। सागरों में अवसादों के साथ लाये गये इन जैविक या कार्बनिक पदार्थों का चट्टानों के रूप में परिवर्तन हो जाता है। इस प्रकार कार्बन **अवसादी प्रावस्था** (sedimentary phase) में संचित हो जाता है। इसे **अवसादी या भौमिकीय कार्बन भण्डार** कहते हैं। अवसादी कार्बन भण्डार में कार्बन की स्थिति अकार्बनिक कार्बोनेट के रूप में तथा कुछ हद तक कोयला, पीट तथा खनिज तेल के रूप में होती है। कार्बन का **अवसादी प्रावस्था में निवास समय** (residence time) काफी दीर्घकालिक होता है क्योंकि कार्बन **अवसादी भण्डार** में दीर्घकाल तक संचित रहता है।

अवसादी प्रावस्था से कार्बन की निर्मुक्ति (विमोचन) निम्न रूपों में होती है : (i) जब शैलों का अपक्षय एवं अपरदन होता है तो उनमें स्थित जैविक पदार्थों में संचित कार्बन मुक्त हो जाता है। (ii) जब शैलों में स्थित जीवाश्म खनिजों (कोयला, पीट, खनिज तेल, प्राकृतिक गैस आदि) को विभिन्न उपयोग के लिए जलाया जाता है तो कार्बन निर्मुक्त हो जाता है। इन जीवाश्म खनिजों को कारखानों, स्वचालित यानों (मोटर-गाड़ी, कार आदि), घरों आदि में विभिन्न उपयोगों तथा प्रयोजनों के लिए जलाया जाता है। ज्वालामुखी उद्भेदन के समय भी शैलों में भण्डारित कार्बन का विमोचन होता है। इस प्रकार **अवसादी भण्डार** से अपक्षय तथा अपरदन, जीवाश्म खनिजों के जलाने तथा ज्वालामुखी उद्भेदन से निर्मुक्त कार्बन वायुमण्डलीय कार्बन भण्डार में गैसीय रूप में वापस चला जाता है परन्तु कार्बन का अवसादी चक्र अपेक्षाकृत दीर्घ भौमिकीय कालावधि में सम्पन्न होता है।

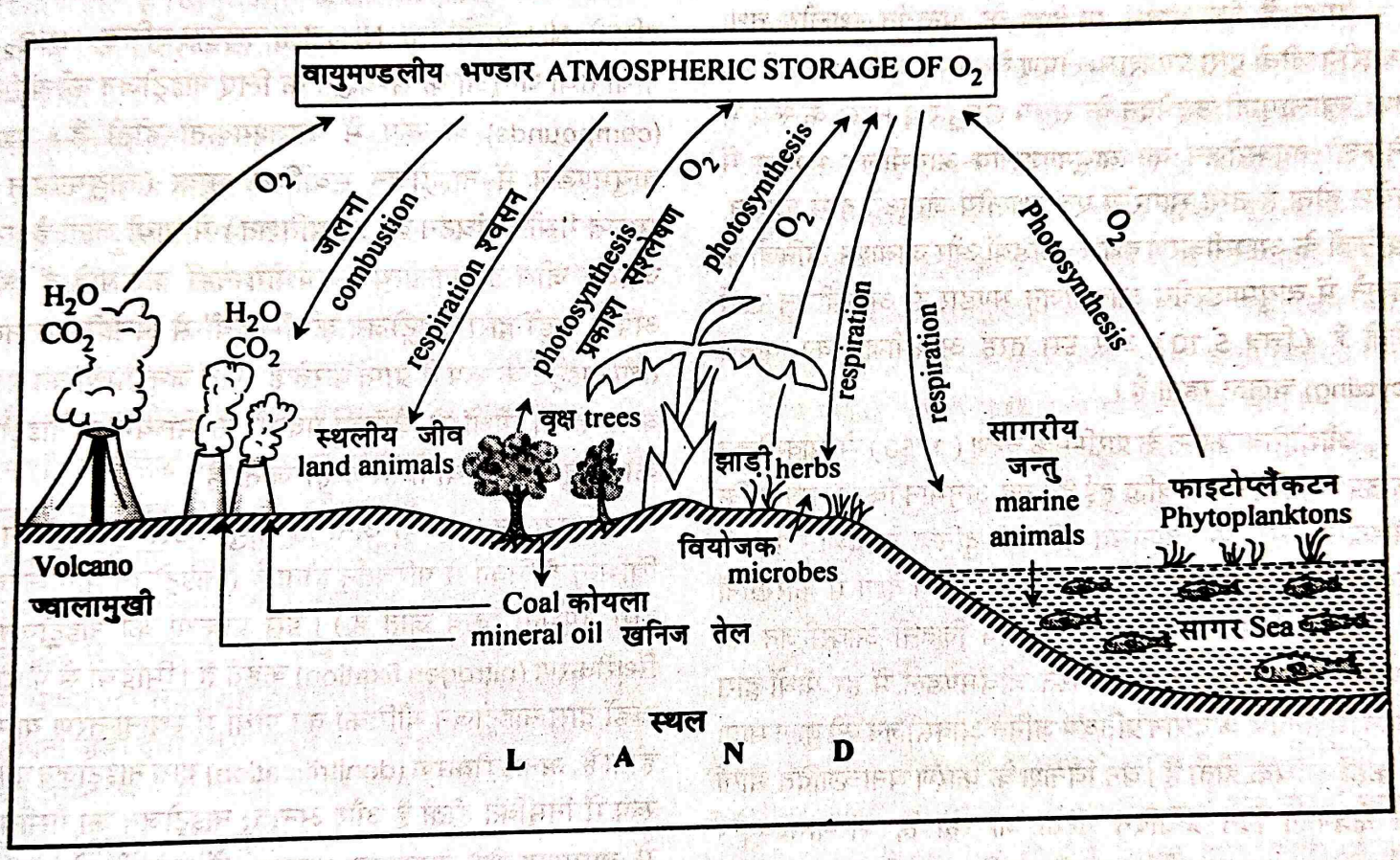
सागरीय पारिस्थितिक तंत्र में कार्बन का संचरण तथा गमन स्थलीय पारिस्थितिक तंत्र में कार्बन चक्र की तुलना में अधिक सरल होता है। सागरीय स्वपोषित जीव (फाइटोप्लैंकटन) **वायुमण्डलीय कार्बन भण्डार** से कार्बन ग्रहण करते हैं तथा प्रकाशसंश्लेषण की प्रक्रिया के दौरान कार्बन, हाइड्रोजन तथा आक्सीजन को सम्मिलित करके उन्हें कार्बोहाइड्रेट (रासायनिक ऊर्जा) में परिवर्तित करते हैं। इस तरह कार्बन का फाइटोप्लैंकटन (पादप प्लैंकटन) के अवयवों में भण्डारन हो जाता है। फाइटोप्लैंकटन में भण्डारित कार्बन का कुछ भाग इन पौधों के मर जाने पर **अवसादी भण्डार** में चला जाता है, कुछ भाग का खनिज तेल तथा प्राकृतिक गैस में रूपान्तर हो जाता है तथा कुछ भाग का उन सागरीय जन्तुओं में स्थानान्तरण हो जाता है जो फाइटोप्लैंकटन पौधों का भक्षण करते हैं तथा इन फाइटोप्लैंकटनसेवी शाकाहारी सागरीय जन्तुओं से कुछ कार्बन का उन्हें खाने वाले मांशाहारी जन्तुप्लैंकटन में स्थानान्तरण हो जाता है। श्वसन के समय सागरीय जीवों (पौधों तथा जन्तुओं) में कार्बोहाइड्रेट का विघटन होता है तथा कार्बन गैसीय रूप में निर्मुक्त होकर **वायुमण्डलीय कार्बन भण्डार** में पुनः वापस चला जाता है। सागरीय जीवों में बचे कार्बन की शेष मात्रा कार्बोनेट अवसादों तथा हाइड्रोकार्बन के रूप में **अवसादी कार्बन भण्डार** में सम्मिलित हो जाती है। इस अवसादी भण्डार में संचित कार्बन की निर्मुक्ति दीर्घ काल के बाद शैलों के अपक्षय तथा अपरदन (ज्ञातव्य है कि सागरीय अवसादी भण्डार वाली शैलों का तभी अपक्षय तथा अपरदन हो सकता है जबकि भूगर्भिक घटनाओं के परिणामस्वरूप ये चट्टानें सागर तल से ऊपर आ जायँ), उनमें स्थित जीवाश्म खनिजों (कोयला, पीट, खनिज तेल, प्राकृतिक गैस आदि) के जलाने तथा ज्वालामुखी उद्भेदन होने पर हो जाती है (चित्र 5.9)।

5.11 आक्सीजन चक्र

जीवमण्डलीय पारिस्थितिक तंत्र में आक्सीजन की महत्वपूर्ण भूमिका होती है तथा यह जीवित जीवों के लिए एक महत्वपूर्ण तत्व है क्योंकि यह समस्त जीवों के जीवन को सम्भव बनाती है तथा उससे उत्पन्न भी होती है। आक्सीजन जीवमण्डल में अन्य तत्वों के संचरण तथा गमन में सहायक भी होती है। रासायनिक दृष्टि से आक्सीजन अत्यधिक सक्रिय होती है क्योंकि यह जीवमण्डल में स्थित अधिकांश तत्वों के साथ संयुक्त हो जाती है। जीवित जीवों के समस्त अणुओं के 70 प्रतिशत भाग का निर्माण आक्सीजन द्वारा ही होता है तथा यह कार्बोहाइड्रेट के निर्माण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाती है। पौधों तथा जन्तुओं की श्वसन प्रक्रिया के लिए आक्सीजन की आवश्यकता होती है। अर्थात् पौधे तथा मानव सहित जन्तु आक्सीजन का सांस लेने के लिए उपयोग करते हैं। पौधों द्वारा प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया के दौरान आक्सीजन की आवश्यकता होती है। आक्सीजन प्रोटीन तथा चर्बी के निर्माण में भी सहायता करती है। जीवमण्डल में आक्सीजन चक्र अत्यन्त जटिल हाता है क्योंकि आक्सीजन के रासायनिक रूप कई तरह के होते हैं यथा : आणविक आक्सीजन (molecular oxygen, O_2), जल (H_2O), कार्बन डाइ आक्साइड (CO_2), विभिन्न अकार्बनिक यौगिक यथा-आसाइड्स (oxides-Fe_2O_3), कार्बोनेट्स (calcium carbonate $CaCO_3$, magnesium carbonate-$MgCO_3$ आदि)। अर्थात् आक्सीजन कई रासयनिक रूपों में विद्यमान होती है।

यह विश्वास किया जाता है कि वायुमण्डल के विकास के प्रारम्भिक चरण में मुक्त आक्सीजन या आणविक आक्सीजन नहीं थी। आक्सीजन का उद्भव सम्भवतः प्रकाश संश्लेषणी हरे पौधों के उद्भव के पश्चात् ही हुआ होगा। सम्भवतः प्रथम आणविक आक्सीजन का उद्भव पौधों की कोशिकाओं (plant cells) द्वारा जलीय अणुओं (water molecules) के विखण्डन या विभाजन (splitting) के कारण हुआ होगा। ज्ञातव्य है कि

जलीय अणुओं का पौधों की कोशिकाओं द्वारा विखण्डन या अलगाव होता है तथा ये अलग किये जल के अणु लगभग 2 मिलियन वर्षों में आपस में पुनः सम्बद्ध हो जाते हैं। इस तरह पौधों द्वारा उत्पन्न आक्सीजन का वायुमण्डल में विभिन्न मार्गों से संचरण होता है तथा आक्सीजन का लगभग 2000 वर्षों बाद पुनः चक्रण (recycling) होता है। स्पष्ट है कि आक्सीजन का वायुमण्डल में **निवास समय** (residence time 2000 वर्ष) कार्बन के **निवास समय** (लगभग 300 वर्ष) से अधिक लम्बा होता है। अर्थात् आक्सीजन का एक बार संचरण हो जाने के बाद उसका दुबारा संचरण तथा चक्रण लगभग 2000 वर्षों बाद सम्पन्न होता है जबकि पौधों तथा जन्तुओं द्वारा निर्मुक्त कार्बन मात्र 300 वर्षों बाद ही पौधों तथा जन्तुओं को उपयोग के लिए पुनः प्राप्त हो जाती है। अपने निर्माण काल से लेकर वर्तमान समय तक आक्सीजन का वायुमण्डल में लगातार सान्द्रण होता रहा है। परिणामस्वरूप वर्तमान समय में आक्सीजन वायुमण्डल के समस्त गैसीय संघटन के 21 प्रतिशत भाग का प्रतिनिधित्व करती है। ज्ञातव्य है कि आक्सीजन आणविक आक्सीजन (O_2) के रूप में अल्प काल तक ही रहती है क्योंकि यह CO_2 (कार्बन डाइ आक्साडड) या H_2O (जल) या अन्य आक्साइडों से शीघ्र संयुक्त हो जाती है।



चित्र 5.10 : सामान्य आक्सीजन चक्र का आरेखीय प्रदर्शन।

आक्सीजन का निर्माण स्थलीय पारिस्थितिक तंत्र के स्वपोषित हरे पौधे तथा सागरीय परिस्थितिक तंत्र के पादप प्लैंकटन (फाइटोप्लैंटन) द्वारा **प्रकाशसंश्लेषण** की प्रक्रिया द्वारा होता है। कुछ आक्सीजन का निर्माण विभिन्न खनिज आक्साइडों के न्यूनीकरण (reduction) द्वारा भी होता है। इस तरह उत्पन्न आक्सीजन का वायुमण्डल में भण्डारन होता है। इसे **वायमण्डलीय आक्सीजन भण्डार** कहते हैं। ज्वालामुखी उद्भेदन के समय गैसनिष्कासन (outgassing) खासकर गैसों के CO_2 तथा H_2O (जल) के रूप में निष्कासन द्वारा भी कुछ आक्सीजन वायुमण्डल में पहुँच कर वायुमण्डलीय आक्सीजन भण्डार में

प्रतिवर्ष सम्मिलित होती रहती है। इस वायुमण्डलीय आक्सीजन भण्डार से आक्सीजन को प्राप्त करके सागरीय तथा स्थलीय जन्तु उसका उपभोग करते हैं। लकड़ियों तथा जीवाश्म ईंधनों के जलने में भी आक्सीजन का उपभोग होता है। आक्सीजन का कुछ भाग जल में समाहित हो जाता है तथा नदियों से होकर यह आक्सीजन सागरों तक पहुँचती है एवं वहाँ पर सागरीय अवसादों में समाहित हो जाती है। आक्सीजन के इस भण्डार को **अवसादी आक्सीजन भण्डार** कहा जाता है। इस अवसादी भण्डार में आक्सीजन का **निवास समय** (residence time) अत्यधिक लम्बा होता है अर्थात् आक्सीजन अवसादों में दीर्घकाल तक बनी रहती है।

स्पष्ट है कि **आक्सीजन चक्र** के अन्तर्गत स्थलीय तथा सागरीय जीवों द्वारा प्रकाशसंश्लेषण के समय जनित आक्सीजन तथा ज्वालामुखी उद्भेदन के समय CO_2 एवं H_2O के रूप में निकली आक्सीजन का **वायुमण्डलीय आक्सीजन भण्डार** में प्रवेश होता है तथा सागरीय एवं स्थलीय जन्तुओं द्वारा श्वसन, खनिजों के आक्सीकरण तथा लकड़ियों और जीवाश्म खनिजों के जलने में वायुमण्डलीय आक्सीजन भण्डार से आक्सीजन खर्च होती है (चित्र 5.10) और इस तरह आक्सीजन का चक्रण (cycling) चलता रहता है।

औद्योगिक क्रान्ति के प्रारम्भिक चरण (1750) से आक्सीजन के उपभोग में निरन्तर वृद्धि हुई है। यह अनुमान किया गया है कि औद्योगिक स्तर पर विकसित पश्चिमी दुनिया के देशों खासकर संयुक्त राज्य अमेरिका तथा पश्चिमी यूरोपीय देशों में कारखानों में जीवाम ईंधनों के जलाने में प्रतिवर्ष जितनी आक्सीजन का उपभोग किया जाता है वह समस्त जीवमण्डल में हरे पौधों द्वारा प्रकाशसंश्लेषण के दौरान प्रतिवर्ष जनित आक्सीजन की कुल मात्रा से कहीं अधिक होती है। वन विनाश के कारंण वनाच्छादित भागों का क्षेत्रफल दिन प्रतिदिन घटता जा रहा है, परिणामस्वरूप आक्सीजन का जनन भी घट रहा है जबकि आक्सीजन का उपभोग बढ़ रहा है। इस तरह आक्सीजन के जनन एवं आक्सीजन के उपभोग के बीच असन्तुलन का मानव समाज पर दूरगामी परिणाम हो सकता है। यदि वनाच्छादित भागों के क्षेत्रफल में विस्तार न किया गया तथा जीवाश्म ईंधनों के जलाने में कमी नहीं की गयी तो हो सकता है कि इक्कीसवीं शदी में वायुमण्डल में आक्सीजन की इतनी कमी हो जाय तथा कार्बन डाइ आक्साइड में इतनी वृद्धि हो जाय कि मनुय को अपनी पीठ पर आक्सीजन का सिलिण्डर बाँध कर चलना पड़े।

5.12 नाइट्रोजन चक्र

जीवमण्डल में नाइट्रोजन का सभी प्रकार के जीवों (पौधों, मानव सहित जन्तुओं तथा वियोजक सूक्ष्म जीवों) के लिए महत्व होता है क्योंकि यह एमिनो एसिड का एक आवश्यक भाग होती है तथा जीवों में प्रोटीन के निर्माण में एमिनो एसिड की आवश्यकता होती है। नाइट्रोजन वायुमण्डल में सामान्य रूप से 7 रूपों में पायी जाती है यथा : आणविक नाइट्रोजन (N_2), नाइट्रोजन के आक्साइड्स (यथा, नाइट्रस आक्साइड N_2O, नाइट्रिक आक्साइड NO, तथा नाइट्रोजन परआक्साइड NO_2) तथा हाइड्रोजन–नाइट्रोजन यौगिक (यथा, एमिनो, NH, अमोनिया, NH_3 तथा नाइट्रस एसिड, HNO_2)। पौधों तथा जन्तुओं के सम्बर्द्धन के लिए नाइट्रोजन की यौगिक (compounds) के रूप में आवश्यकता होती है। यद्यपि वायुमण्डल में नाइट्रोजन सर्वाधिक मात्रा (वायुमण्डल के समस्त गैसीय संघटन का 78 प्रतिशत) में पायी जाती है परन्तु जीवित जीव इनका प्रत्यक्ष उपभोग नहीं कर पाते हैं। पौधे अपनी जड़ों द्वारा नाइट्रोजन को मिट्टियों से अमोनियम लवण तथा नाइट्रेट के रूप में प्राप्त करते हैं। जब जन्तु पौधों का भक्षण करते हैं तो पौधों से जैविक पदार्थों के माध्यम से नाइट्रोजन का जन्तुओं में स्थानान्तरण हो जाता है।

नाइट्रोजन चक्र के अन्तर्गत वायुमण्डलीय नाइट्रोजन का विभिन्न यौगिकों में परिवर्तन होता है (नाइट्रोजन यौगिक जीवों द्वारा उपभोग किये जाते हैं)। इस प्रक्रिया को **नाइट्रोजन का स्थिरीकरण** (nitrogen fixation) कहते हैं। मिट्टियों से पौधों की जड़ों द्वारा नाइट्रोजन यौगिकों का पौधों में स्थानान्तरण या गमन होता है, **अनाइट्रीकरण** (denitrification) द्वारा नाइट्रोजन की गैस रूप में निर्मुक्ति होती है और अन्ततः नाइट्रोजन का गैसीय रूप में **वायुमण्डलीय नाइट्रोजन भण्डार** में वापसी हो जाती है। नाइट्रोजन चक्र की सुव्यवस्थित परिभाषा निम्न रूप में प्रस्तुत की जा सकती है:

वायुमण्डलीय नाइट्रोजन गैस के पौधों तथा जन्तुओं के लिए आवश्यक विभिन्न प्रकार के यौगिकों में परिवर्तन तथा इन नाइट्रोजन यौगिकों के विखण्डन एवं विघटन के बाद पुनः नाइट्रोजन गैस के रूप में वायुमण्डल में वापस आने की प्रक्रिया को नाइट्रोजन चक्र कहते हैं।

नाइट्रोजन चक्र निम्न चरणों (steps) में सम्पादित होता है :

(1) **वायुमण्डलीय नाइट्रोजन का मिट्टियों में स्थानान्तरण या नाइट्रोजन का स्थिरीकरण**—नाइट्रोजन के स्थिरीकरण (nitrogen fixation) का तात्पर्य होता है वायुमण्डलीय नाइट्रोजन का मिट्टियों में अमोनिया, नाइट्रेट आदि रूपों में स्थानान्तरण। **वायुमण्डलीय नाइट्रोजन भण्डार** में नाइट्रोजन गैसीय रूप (आणविक नाइट्रोजन N_2) में होती है। इसके अमोनिया, नाइट्रेट या एमिनो एसिड के रूप में रूपान्तरण या स्थिरीकरण के दो प्राकृतिक कारक होते हैं : (i) **तडित् विसर्जन** (lightning discharge), तथा (ii) **जीवीय क्रिया** (biological activity)। इनके अलावा मनुष्य द्वारा खेतों में रासायनिक खादों के प्रयोग के समय अप्राकृतिक या कृत्रिम ढंग से भी नाइट्रोजन का स्थिरीकरण होता है। वायुमण्डलीय आणविक नाइट्रोजन गैस का मिट्टियों में स्थानान्तरण या स्थिरीकरण निम्न प्रक्रियाओं द्वारा सम्पन्न होता है :

➢ वायुमण्डल में आणविक नाइट्रोजन तथा आणविक आक्सीजन के तड़ित विसर्जन (lightning discharge) के कारण संयुक्त हो जाने पर नाइट्रिक आक्साइड (NO) बनता है। अतिरिक्त आक्सीजन (O_2) मिलने पर नाइट्रिक आक्साइड का आक्सीकरण (oxidation) हो जाता है जिस कारण नाइट्रोजन परआक्साइइड (NO_2) का निर्माण होता है। यह नाइट्रोजन परआक्साइड जल के साथ मिलने पर नाइट्रिक एसिड (HNO_3) बन जाता है। वर्षा का जल इस नाइट्रिक अम्ल (एसिड) को घुलाकर मिट्टियों में पहुँचा देता है जहाँ पर (मिट्टियों में) इसका चूना पत्थर ($CaCO_3$) तथा क्षारों (alkalis) से रासायनिक अभिक्रिया होने पर नाइट्रेट में रूपान्तरण हो जाता है। इस नाइट्रेट का मिट्टियों में भण्डारन (संग्रह) होता रहता है। पौधे इस नाइट्रोजन को अपनी जड़ों द्वारा ग्रहण करते हैं। उपर्युक्त समस्त क्रियाओं को निम्न रूपों में व्यक्त किया जा सकता है :

तड़ित विसर्जन (बिजली का चमकना)

↓

$N_2 + O_2 \longrightarrow 2NO$ (nitrogen oxide)

$2NO + O_2 \longrightarrow 2NO_2$ (nitrogen peroxide)

$4NO_2 + 2H_2O + O \longrightarrow 4HNO_3$ (nitric acid)

$2HNO_3 + CaCO_3 \longrightarrow Ca(NO_3)_2 + CO_2 + H_2O$

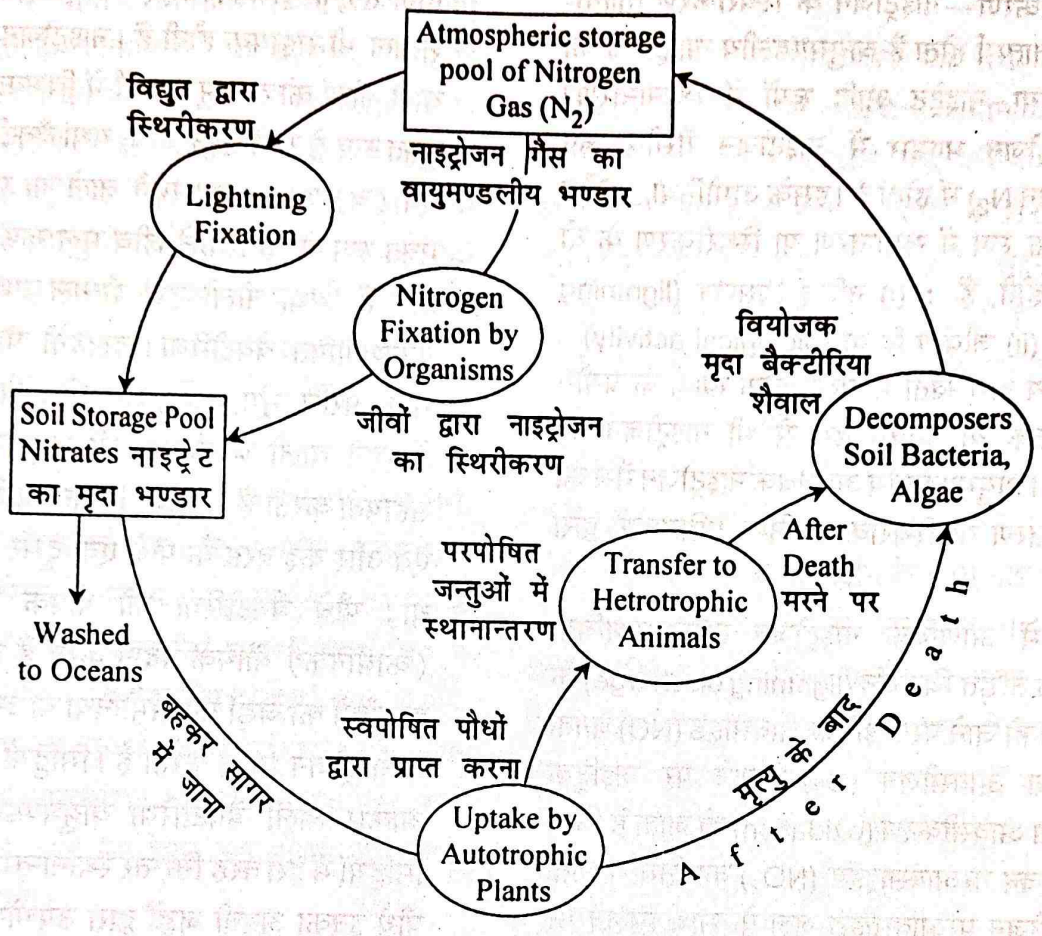
(calcium nitrate)

अनुमान किया गया है कि इस प्रक्रिया द्वारा 24 घण्टों में 250,000 टन अम्ल का निर्माण हो जाता है।

➢ जीवों द्वारा भी नाइट्रोजन का स्थिरण (nitrogen fixation) होता है। **नाइट्रोजन स्थिरण** में बैक्टीरिया तथा नीली-हरी शैवाल भी सहायक होती हैं। नाइट्रोजन का स्थिरण करने वाले जीवों को दो प्रमुख वर्गों में विभक्त करते हैं—(अ) मुक्त रूप से रहने वाले जीव, यथा बैक्टीरिया तथा शैवाल, एवं (ब) साथ-साथ रहने वाले या परस्परजीवी जीव। मुक्त रूप से रहने वाले जीव मूल रूप से स्वपोषित जीव होते हैं, यथा नीली-हरी शैवाल तथा कई प्रकार की प्रकाशपोषित बैक्टीरिया। दलहनी पौधों (यथा—मटर, चना, अरहर, मूंग, उड़द, सोयाबीन, सेम आदि) की जड़ों में रहने वाली बैक्टीरिया भी नाइट्रोजन के स्थिरण में सहायता करती हैं। ज्ञातव्य है कि बैक्टीरिया तथा उपर्युक्त एवं और कई तरह के पौधे एक दूसरे पर निर्भर करते हैं। यदि पौधे बैक्टीरिया को पोषक तत्व तथा जैविक (कार्बनिक) यौगिक प्रदान करते हैं तो ये बैक्टीरिया भी इन पौधों की जड़ों को अमोनिया या अमिनो एसिड के रूप में नाइट्रोजन प्रदान करती हैं। मिट्टियों में रहने वाली सूक्ष्म आकार वाली बैक्टीरिया वायुमण्डलीय नाइट्रोजन का मिट्टियों में इस तरह निरन्तर स्थानान्तरण करती रहती हैं कि पौधे इनका अपनी जड़ों द्वारा उपभोग कर सकें।

➢ मनुष्य कारखानों में रासायनिक नाइट्रोजन खादों (यथा, अमोनिया सल्फेट, कैलासियम साइनेमाइड, नाइट्रेट आदि) का निर्माण करता है। जब इन खादों का फसलों के लिए खेतों में उपयोग किया जाता है तो मिट्टियों में नाइट्रोजन का कृत्रिम रूप में स्थिरण हो जाता है।

(2) **नाइट्रोजन का खनिजीकरण, नाइट्रीकरण तथा मिट्टियों से नाइट्रोजन का पौधों एवं जन्तुओं में स्थानान्तरण**—मिट्टियों में नाइट्रोजन का खनिजीकरण (mineralization) तथा नाइट्रीकरण (nitrification) वे प्रकियायें होती हैं जिनके द्वारा नाइट्रोजन का ऐसे रूपों में स्थानान्तरण हो जाता है कि पौधे उन्हें अपनी जड़ों द्वारा आसानी से ग्रहण कर लेते हैं। जब कार्बनिक या जैविक नाइट्रोजन यौगिकों का अकार्बनिक या खनिज रूप में परिवर्तन हो जाता है (यथा, अमोनिया) तो परिवर्तन की इस प्रक्रिया को **नाइट्रोजन का खनिजीकरण या अमोनीकरण** (ammonification) कहते हैं। अमोनिया लवण के नाइट्राइट एवं नाइट्रेट में रूपान्तरण की प्रक्रिया को **नाइट्रीकरण** (nitrification) कहते हैं। अब पौधे अपनी जड़ों द्वारा मिट्टियों से नाइट्रोजन को नाइट्रेट के



चित्र 5.11 : नाइट्रोजन चक्र का प्रदर्शन।

रूप में ग्रहण करते हैं। पौधों में गये इन नाइट्रेट का विभिन्न जटिल जैविक/कार्बनिक यौगिकों (यथा, प्रोटीन) में रूपान्तरण हो जाता है। जब पोषण स्तर दो के शाकभक्षी जन्तु पौधों का भक्षण करते हैं तो पौधों के जैविक यौगिक या प्रोटीन जन्तुओं में स्थानान्तरित हो जाते हैं और वह जन्तु प्रोटीन में बदल जाता है। पोषण स्तर दो से नाइट्रोजन (जन्तु प्रोटीन के रूप में) का पोषण स्तर तीन में तथा पोषण स्तर तीन से पोषण स्तर चार के जन्तुओं में क्रमशः स्थानान्तरण होता जाता है। जन्तुओं में जब प्रोटीन का विघटन होता है तो वह एमिनो एसिड, यूरिया आदि में रूपान्तरित हो जाता है।

(3) **अनाइट्रीकरण तथा नाइट्रोजन की वायुमण्डल में वापसी**—मिट्टियों में स्थित **अमोनित करने वाली बैक्टीरिया** (ammonifying bacteria) जन्तुओं द्वारा त्यक्त पदार्थों (गोबर, मलमूत्र आदि) में स्थित एमिनोएसिड तथा यूरिया को अमोनिया एवं अमोनिया लवण में बदल देती हैं। इसी तरह ये बैक्टीरिया मृत पौधों (या उनके अंगों) तथा मृत जन्तुओं को सड़ा-गलाकर (वियोजित करके) उनमें स्थित एमिनो एसिड तथा यूरिया को अमोनिया एवं अमोनियम लवण में रूपान्तरित कर देती हैं। इन अमोनिया तथा अमोनिया लवण को मिट्टियों में रहने वाली नाइट्रोसीकारी (nitrosifying) या नाइट्रीकारी (nitrifying) बैक्टीरिया पुनः नाइट्रेटों में बदल देती हैं तथा इन नाइट्रेटों का मिट्टियों में भण्डारन होता रहता है। इस प्रक्रिया को नाइट्रीकरण कहते हैं। इस तरह नाइट्रोजन का मिट्टियों में से पौधों तथा जन्तुओं में तथा पौधों एवं जन्तुओं में से मिट्टियों में स्थानान्तरण तथा गमन होता रहता है।

नाइट्रीकरण की विपरीत प्रक्रिया को **अनाइट्रीकरण** (denitrification) कहते हैं। अनाइट्रीकरण का अर्थ होता है नाइट्रेट (nitrates) का गैसीय नाइट्रोजन (आणविक नाइट्रोजन

गैस N_2) में रूपान्तरण। मिट्टिया म कुछ बक्टारिया तथा कवक (fungi) ऐसे होते हैं जो बिना आक्सीजन के जीवित रहते हैं। ये बैक्टीरिया तथा कवक नाइट्रेट्स को नाइट्रोजन गैस में बदल देते हैं। इस प्रक्रिया को **अनाइट्रीकरण** कहते हैं। इस तरह निर्मुक्त नाइट्रोजन गैसीय रूप में **वायुमण्डलीय नाइट्रोजन भण्डार** में मिल जाती है (चित्र 5.11)। इस प्रकार नाइट्रोजन चक्र पूर्ण हो जाता है (चित्र 5.11)। मिट्टियों से कुछ नाइट्रेट जल के साथ रिसकर भूमिगत जल में चली जाती है, कुछ नाइट्रेट मिट्टियों के अपरदन के काण **धरातलीय वाही जल** (surface runoff) के साथ बहकर नदियों में होती हुई सागरों में चली जाती है। जब मृत जीवों (पौधों तथा जन्तुओं) का बैक्टीरिया द्वारा वियोजन (decomposition) होता है तो कुछ अमोनिया निर्मुक्त होकर वायुमण्डल में चली जाती है। यह अमोनिया जल में घुलनशील होती है, अत: जलवर्षा के समय पुन: धरातल पर अमोनियम सल्फेट तथा अमोनियम नाइट्रेट के रूप में वापस आ जाती है।

ज्ञातव्य है कि सूक्ष्म जीव नाइट्रोजन चक्र के नियंत्रक एवं नियामक (controlling तथा regulating) कारक हैं क्योंकि बैक्टीरिया एक तरफ तो नाइट्रोजन का स्थिरण (nitrogen fixation) करती हैं एवं नाइट्रीकरण की प्रक्रिया का सम्पादन करती हैं तो दूसरी तरफ कुछ खास तरह की बैक्टीरिया नाइट्रेट्स को नाइट्रोजन गैस में बदलती हैं, अर्थात् अनाइट्रीकरण की प्रक्रिया का सम्पादन करती हैं। "अत: स्पष्ट है कि वायुमण्डल से नाइट्रोजन का निष्कासन एवं वायुमण्डल में नाइट्रोजन का पहुँचना मुख्य रूप से बैक्टीरिया द्वारा नियंत्रित होता है" (D.B. Botkin तथा E.A. Keller, 1982)।

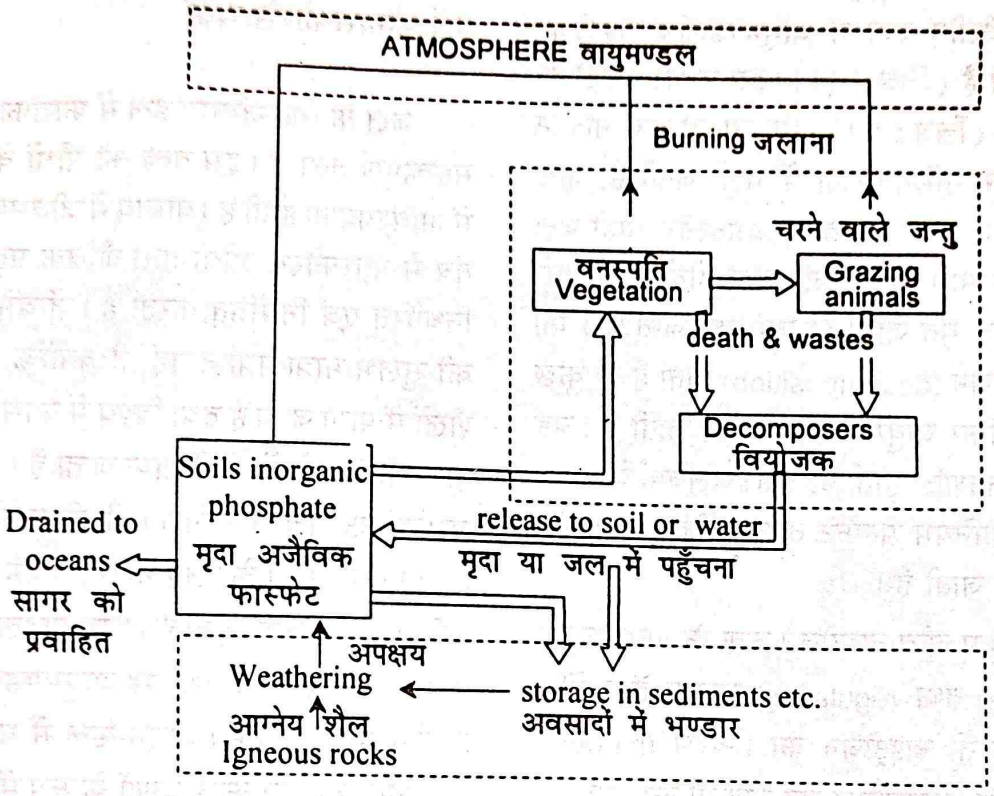
सामान्तया **वायुमण्डलीय नाइट्रोजन भण्डार** से नाइट्रोजन के निष्कासन तथा स्थलीय एवं सागरीय जीवों द्वारा नाइट्रोजन के स्थिरण (nitrogen fixation) की मात्राओं तथा स्थलीय एवं सागरीय पारिस्थितिक तंत्रों में अनाइट्रीकरण जीवों (बैक्टीरिया) द्वारा निर्मुक्त नाइट्रोजन की मात्रा में सन्तुलन होना चाहिए परन्तु वास्तविकता यह है कि पौधों को सुलभ होने वाली नाइट्रोजन की मात्रा मिट्टियों में रहने वाले अनाइट्रीकरण जीवों (denitrifying organisms) द्वारा निर्मुक्त होकर वायुमण्डलीय भण्डार में वापस जाने वाली नाइट्रोजन की मात्रा से अधिक होती है। अर्थात् वायुमण्डलीय भण्डार से जितनी नाइट्रोजन का मिट्टियों में स्थिरण होता है उससे कहीं अधिक नाइट्रोजन मिट्टियों में विद्यमान होती है। इसका प्रमुख कारण यह है कि मनुष्य द्वारा प्रयोग की जाने वाली रासायनिक खादों के फलस्वरूप मिट्टियों में नाइट्रोजन का स्तर अधिक हो जाता है।

5.13 फासफोरस चक्र

जल के बाद जीवमण्डल में फासफोरस दूसरा सर्वाधिक महत्वपूर्ण तत्व है। इस तत्व की पौधों के लिए पर्याप्त मात्रा में आवश्यकता होती है। वास्तव में जीवमण्डलीय पारिस्थितिक तंत्र में फारफोरस जीवों द्वारा जैविक पदार्थों के उत्पादन को निर्धारित एवं नियंत्रित करता है। जीवमण्डल में फासफोरस की सुलभ मात्रा पर्याप्त नहीं है क्योंकि फासफोरस फासफेट शैलों में पाया जाता है तथा विश्व में फासफेट शैलों का वितरण कुछ सीमित क्षेत्रों में ही पाया जाता है। फासफोरस एक ऐसा रासायनिक तत्व (खनिज) है जिसकी गैसीय प्रावस्था में स्थिति कम समय के लिए होती है। यह अवसादी प्रावस्था में अधिक समय तक रहता है। वायुमण्डल में फासफोरस बहुत कम मात्रा में होता है तथा यह वायुमण्डल में अस्थायी रूप में ही विद्यमान रहता है। वायुमण्डल में फासफोरस की स्थिति धूलिकणों तथा नमक के कणों के रूप में होती है। फासफोरस के कण सागरीय भागों में नमक की बौछारों (salt sprays) से तथा स्थलीय भागों पर स्थित फासफेट भण्डारों तथा फासफेट की खदानों से हवा द्वारा उड़ाकर वायुमण्डल में पहुँचते हैं।

फासफोरस चक्र की सबसे दिलचस्प तथा महत्वपूर्ण विशेषता यह होती है कि यह चक्र क्रमश: तथा अति मन्द गति से सम्पादित होता है तथा फासफोरस का जीवमण्डल में संचरण तथा गमन एक मार्गीय (one way) रूप में ही सम्पन्न होता है। अर्थात् स्थलीय भागों से फासफोरस का **धरातलीय वाही जल** (surface runoff) तथा नदियों से होकर सागरों में परिवहन हो जाता है जहाँ पर वह भण्डारित होता रहता है तथा सागरों से फासफोरस बहुत ही न्यून मात्रा में स्थलों पर वापस पहुँचता है। अधिकांश फासफोरस अवसादी शैलों में फासफेट शैलों के रूप में भण्डारित (संचित) रहता है। जब इन फासफेट शैलों का अपक्षय होता है तो फासफोरस का मृद्दाभण्डार में स्थानान्तरण हो जाता है। ज्ञातव्य है कि मिट्टियों में फासफोरस खनिज रूप में पाया जाता है तथा सामान्यतया यह कैलसियम, पोटैसियम के साथ मिला रहता है। मिट्टियों तथा शैलों

में स्थित समस्त फासफोरस चक्र में हिस्सा नहीं लेता है। वास्तव में समस्त फासफोरस का मात्र 10 प्रतिशत ही चक्रीय मार्गों में सम्मिलित होता है क्योंकि फासफोरस जल में अपेक्षाकृत अघुलनशील होता है।



चित्र 5.12 : फासफोरस चक्र का प्रदर्शन (based on E. P. Odum, 1971)।

पौधे अपनी जड़ों द्वारा मिट्टियों से फासफोरस को अकार्बनिक फासफेट के रूप में ग्रहण करते हैं। पौधों में अकार्बनिक फासफोरस का कार्बनिक या जैविक रूप में परिवर्तन हो जाता है। फासफेट के इन कार्बनिक भागों का आहार शृंखला के विभिन्न पोषण स्तरों के विभिन्न जीवों में स्थानानतरण तथा गमन होता है। कार्बनिक फासफोरस का पौधों से शाकभक्षी जन्तुओं में, शाकभक्षी जन्तुओं से मांशभक्षी जन्तुओं में तथा पौधों, शाकभक्षी एवं मांशभक्षी जन्तुओं से सर्वभक्षी जन्तुओं में संचरण होता है। जब मृत पौधों तथा जन्तुओं का एवं विभिन्न जन्तुओं द्वारा परित्यक्त अपशिष्ट पदार्थों (गोबर, मलमूत्र आदि) का मृदावासी सूक्ष्म वियोजक जीवों द्वारा विघटन तथा वियोजन हो जाता है तथा फासफेट के जैविक/कार्बनिक रूप का खनिज रूप में परिवर्तन (खनिजीकरण) हो जाता है (कार्बनिक फासफेट का अकार्बनिक फासफेट में रूपान्तरण) तो फासफेट पुनः मिट्टियों में वापस पहुँच जाता है। फासफेट के कुछ भाग का धरातलीय वाही जल तथा नदियों द्वारा सागरों में स्थानान्तरण हो जाता है तथा कुछ भाग का कार्बनिक (जैविक) यौगिकों के रूप में (यथा, हड्डियाँ) रूपान्तरण हो जाता है। इन हड्डियों में फासफोरस दीर्घकाल तक भण्डारित रहता है। जब हड्डियों का विघटन तथा वियोजन होता है तो उनमें संचित कार्बनिक फासफेट का पुनः खनिज रूप (अकार्बनिक फासफेट) में परिवर्तन हो जाता है तथा यह खनिज फासफेट पुनः मिट्टियों में मिल जाता है, परन्तु हड्डियों के कार्बनिक फासफेट का खनिजीकरण (अकार्बनिक फासफेट में रूपान्तरण) दीर्घकाल के बाद ही सम्भव हो पाता है। ज्ञातव्य है कि पौधों द्वारा ग्रहण किए गये फासफेट में से सभी का कार्बनिक (जैविक) रूप में परिवर्तन नहीं हो पाता है, अपितु अधिकांश फासफेट पौधों में अब भी अकार्बनिक रूप में ही रहता है, अतः पौधों के मृत भागों

के वियोजन होने पर अकार्बनिक रूप में विद्यमान फासफेट का अपेक्षाकृत लघु समय में ही खनिजीकरण हो जाता है (चित्र 5.12)।

सागरों से फासफोरस की स्थलों पर वापसी नियमित क्रिया नहीं है, अपितु यह अत्यन्त मन्द गति से कभी-कभी ही घटित होती है। अर्थात् सागरों से फासफोरस का स्थलों पर नियमित रूप से स्थानान्तरण न होकर अनियमित रूप से यदा-कदा ही होता है, और वह भी अति मन्द गति से। सागरतटीय भागों से फासफोरस की स्थलीय भागों पर वापसी निम्न कारकों द्वारा होती है :

- सागरीय जल की बौछारों से। तटीय भाग पर लहरों के वेग के कारण सागरीय जल ऊपर उछलता है। इस जल के साथ फासफोरस भी ऊपर उठ कर स्थल पर पहुँच जाता है। इस क्रिया को लवण बौछार (salt spray) कहते हैं।
- मछलियों द्वारा। सागरीय मछलियों में फासफोरस कार्बनिक रूप में पर्याप्त मात्रा में रहता है। जब स्थलीय जन्तु, खासकर मनुष्य, इन सागरीय मछलियों को खाते हैं, तो मछलियों में संचित फासफोरस का स्वल्पांश ही स्थलीय जन्तुओं में स्थानान्तरित हो जाता है, तथा
- पक्षियों द्वारा। ज्ञातव्य है कि इन कारकों तथा क्रियाओं द्वारा सागरीय फासफोरस का स्वल्पांश ही स्थलीय भागों पर वापस पहुँच पताा है। स्थलीय भागों से सागरों में स्थानान्तरित फासफोरस का अधिकांश भाग सागरों की तली में स्थित अवसादों में पहुँचकर अवसादी भण्डार में संचित होता रहता है। इस सागरीय अवसादी भण्डार से फासफोरस का विमोचन तथा उसकी प्राप्ति तभी सम्भव हो सकती है जबकि विर्वतनिक घटनाओं के कारण सागरीय तली का उत्थान या उन्मज्जन हो जाय तथा सागरीय तली स्थलीय भागों की ऊँचाई के बराबर हो जाय या उससे ऊँची हो जाय।

यह अनुमान किया गया है कि लगभग 20,000,000,000 मिलियन मिट्रिक टन फासफोरस पृथ्वी की क्रस्ट की शैली में भण्डारित है परन्तु मात्र 10,000 से 60,000 मिलियन मिट्रिक टन फासफोरस का ही परम्परागत तकनीकों से खनन किया जा सकता है। सागरीय भागों में भण्डारित फासफोरस की अनुमानित मात्रा 100,000,000 मिलियन मिट्रिक टन बतायी गयी है। चूँकि स्थलीय भागों में फासफोरस का निरन्तर निष्कासन तथा सागरीय

भागों में स्थानान्तरण होता रहता है परन्तु सागरीय भागों से फासफोरस की स्थलीय भागों पर वापसी अत्यत मन्द गति से तथा अति न्यून मात्रा में ही होती है (लगभग नहीं के बराबर), अत: स्थलीय फासफोरस की मात्रा निरन्तर घटती जा रही है जबकि पौधों के लिए फासफोरस की माँग बढ़ती जा रही है। परिणामस्वरूप रासायनिक खादों के रूप में फासफोरस की अतिरिक्त मात्रा का फसलों के लिए प्रयोग करना पड़ रहा है।