আধুনিক প্রস্তরবিদ্যা

[MODERN PETROLOGY]

ডক্টর অনিরুদ্ধ দে
M. Sc. (Cal.), A. M., Ph. D. (Princeton), F. G. S. A.
রীডার ভূতত্ত্ব বিভাগ, কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়
পূর্বতন প্রক্টর ফেলো—প্রিন্সটন্ বিশ্ববিদ্যালয় (ইউ-এস্-এ) এবং
পোস্ট-ডক্টরেট্ ফেলো—ন্যাশানাল রিসার্চ কাউন্সিল অফ্ কানাডা
ও জীওলজীক্যাল সার্ভে অফ্ কানাডা।

WEST BENGAL LEGISLATURE LIBRARY
Acc. No. 7699
Dated 4. 5. 2000
Call No. 552
Price Rs. 1

পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ

© পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ

প্রকাশক :
পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ
আর্য ম্যানসন (নবম তল)
৬।এ, রাজা সুবোধ মল্লিক স্কোয়ার
কলিকাতা-৭০০০১৩

মুদ্রক :
মেসার্স উষা প্রিণ্টিং ওয়ার্কস,
২০৯ সি, বিধান সরণী,
কলিকাতা-৭০০০০৬

প্রথম প্রকাশ :
এপ্রিল, ১৯৭৮

প্রচ্ছদশিল্পী :
শ্রীহেমকেশ ভট্টাচার্য

চিত্রশিল্পী :
শ্রীনির্মল কর্মকার

Published by Shri Pradyumna Mitra, Chief Executive Officer, West Bengal State Book Board, Arya Mansion (Eighth Floor), 6/A, Raja Subodh Mullick Square, Cal-700013, under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

প্রস্তাবনা

প্রত্যেকের একটি ভাষা সর্বাপেক্ষা ভালভাবে জানা থাকে, যার মাধ্যমে অধ্যয়ন, চিন্তাকরা ও লেখা সহজসাধ্য হয়। বেশীর ভাগ বঙ্গীয় ছাত্রদের কাছে এই ভাষা বাংলা এইজন্য বাংলার মাধ্যমে বিজ্ঞান শিক্ষা দেওয়ার এই প্রচেষ্টা।

স্মরণ রাখা দরকার যে বাংলা ভাষায় এখনও বিভিন্ন বিজ্ঞানের উপযোগী রচনা শৈলী গড়ে ওঠেনি। ইংরাজী ভাষা বিজ্ঞানের চিন্তা-ধারার বাহক হিসাবে আন্তর্জাতিক মর্যাদালাভ করেছে এবং এই ভাষাতে বিজ্ঞানের সূক্ষ্মভাব প্রকাশের জন্য নিজস্ব পরিধি ছাড়িয়ে ল্যাটিন, গ্রীক, জার্মান, ফরাসী ও অন্যান্য বহু ভাষা থেকে সংগৃহীত শব্দ চিরস্থায়ী স্থান পেয়েছে। এর মধ্যের বহু শব্দের আন্তর্জাতিক ব্যবহার হয়।

বাংলায় বিজ্ঞান শিক্ষার সময় বিজ্ঞানের আন্তর্জাতিকতার দিকে বিশেষ দৃষ্টি রাখতে হবে। এজন্য ভূবিজ্ঞানে প্রচলিত আন্তর্জাতিক শব্দগুলির বাংলা প্রতিশব্দ নির্ধারণ সবক্ষেত্রে ঠিক নয়। অতিপ্রচলিত ইংরাজী শব্দ আমি এই বইতে ব্যবহার করেছি। "বিজ্ঞান পরিভাষা" (কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়, 1960) বইতে লিখিত বহু প্রতিশব্দ উপযোগী মনে করায় এই বইতে গৃহীত হয়েছে। যাঁরা বাংলার মাধ্যমে বিজ্ঞান শিখতে প্রয়াসী হবেন তাঁদের বাংলা শব্দ ও তার ইংরাজী প্রতিশব্দ উভয়ই সযত্নে শিখতে হবে। মনে রাখা দরকার যে বিজ্ঞানে সূক্ষ্মতার সঙ্গে সব পরীক্ষানিরীক্ষা করা হয় এবং সেই পরীক্ষার ফলাফল সঠিকভাবে সূক্ষ্মতার সঙ্গে প্রকাশ করা প্রয়োজন।

সাম্মানিক স্নাতক ও স্নাতক সাধারণ শ্রেণীর উপযোগী প্রস্তরবিদ্যার বহু আলোচনা এই বইয়ের অল্প আয়তনের মধ্যে করার চেষ্টা করা হয়েছে। প্রস্তরবিদ্যার বহু তথ্য একত্র সন্নিবেশ করা হয়েছে—এইজন্য এই বই স্নাতোকোত্তর শ্রেণীতে ও পরবর্তীকালে "হ্যান্ডবুক" হিসাবে ব্যবহার করা যাবে। পাঠকদের কাছে অনুরোধ যেন তাঁরা প্রয়োজন মত আরও জানার উৎসাহে ও বিজ্ঞানের আন্তর্জাতিকতা সম্বন্ধে দৃষ্টি রেখে বহু প্রচলিত ইংরাজী বইগুলির বিশেষ বিশেষ অংশগুলি অধ্যয়ন করেন। এইভাবে বিজ্ঞানের অনুশীলনে ও প্রয়োগে প্রয়াসী হতে পারলে তবেই মাতৃভাষায় বিজ্ঞান শিক্ষা সূচনার সার্থকতা। পরবর্তীকালে পাঠক-গণ বৃহত্তর বিজ্ঞানের ক্ষেত্রে অংশগ্রহণ করবেন এই আশা নিয়ে এই বই আরম্ভ করছি।

এই বই লেখার সময় ডঃ সুনীলকুমার রায়চৌধুরী, ডঃ ইন্দ্রনীল বন্দ্যোপাধ্যায় ও শ্রীসঙ্কর্ষণ রায় পাণ্ডুলিপির বিভিন্ন অংশ সম্বন্ধে তাঁদের মতামত লিখে ও অন্যান্যভাবে সাহায্য করেছেন। অধ্যাপক সন্তোষকুমার রায় আগ্নেয় পাথরের শ্রেণীবিভাগের ছকটির উপর এবং ডঃ সুপ্রিয় সেনগুপ্ত ও ডঃ অশোক ভট্টাচার্য পাণ্ডুলিপির বিভিন্ন অংশের উপর মতামত জানিয়েছেন। অধ্যাপক সৌরীন্দ্রনাথ সেন পাণ্ডুলিপি লেখায় উৎসাহিত করেছেন। যাঁদের সহায়তা পাওয়ায় এই বই লেখা ও মুদ্রিত করা সহজ সাধ্য হয়েছে, তাঁদের সকলকে আমার কৃতজ্ঞতা জানাচ্ছি।

ভূবিজ্ঞানে অনুপ্রেরিত করার জন্য আমার পিতৃদেব অধ্যাপক নির্মলপ্রকাশ দে এবং আমার বিজ্ঞানাচার্যদ্বয়, অধ্যাপক এইচ্ এইচ্ হেস্ (প্রিন্সটন) ও অধ্যাপক সন্তোষকুমার রায় (কলিকাতা),—এঁদের স্মৃতির প্রতি শ্রদ্ধা নিবেদন করছি।

এই বইয়ের কয়েকখানি চিত্র যে ব্যক্তি বা প্রতিষ্ঠানের অনুমতি ও সাহায্যে প্রকাশ করা সম্ভব হয়েছে পৃথকভাবে তাঁদের ধন্যবাদ জানাচ্ছি।

এই বই প্রকাশের জন্য পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদকে ধন্যবাদ জানাই।

অনিরুদ্ধ দে

বিজ্ঞান কলেজ ;
কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয়,
35 বালীগঞ্জ সার্কুলার রোড,
কলিকাতা 700019

ADHUNIK PRASTARBIDYA

(Modern Petrology by Dr. Aniruddha De)

English Abstract

Petrology is the science of rocks which form the solid part of the earth, and its scope has been extended to include the rocks from the moon and other terrestrial planets and the meteorites. The description of rocks is studied under petrography and origin of rocks is discussed under petrogenesis (Ch. 1, p. 1).

The interior of the earth is subdivided into the core, mantle and crust on the basis of seismic data. The core has composition similar to that of iron meteorite (iron+nickel). The crust is separated from the mantle by Mohorovicic discontinuity. The mantle consists of ultramafic material and has a low-velocity zone for seismic waves at depths of 70—100 km in which a small amount of melt may be present (hence it is called asthenosphere); this zone separates the lithosphere above from the mantle. The lithosphere is broken up into mobile lithospheric plates, as explained in ocean-floor spreading hypothesis and plate tectonics.

The average crust of the earth contains 55·2% SiO_2. Oxygen is the most abundant element in the crust. The rocks are classified into igneous rocks which formed by crystallization from molten rock matter called magma, the sedimentary rocks formed from sediments deposited in layers upon layers, and the metamorphic rocks formed by transformation (recrystallization) of pre-existing rocks mainly by heat and pressure.

The silicate minerals can be subdivided into 6 classes according to their atomic structures. Out of 700 igneous

rocks of the earth their average mineral composition consists of only six major rock forming minerals : (quartz, felspar, pyroxene, hornblende, biotite and Fe-Ti oxides) (Ch. 2, p. 2—13, figs. 1—9).

Igneous rocks :

Igneous rocks or magmatic rocks may form as extrusive rocks, when magma is extruded over the earth's surface as lava flow. When the magma crystallizes before reaching the surfece plutonic rock bodies are formed. These igneous rocks give rise to varieties of structures (Ch. 3, p. 14—34, figs. 10—22).

Igneous rocks can be classified by mafic mineral content and on the basis of chemical composition.

The average chemical composition of six common rock types are given. The composition of magma and the nature of primary magma is discussed. (Ch. 4, p. 35—41).

Formation of igneous rocks by crystallization of silicate melts is discussed on the basis of phase diagrams of silicate systems and the Reaction Principle of N. L. Bowen is developed. In a later section the textures formed by juxtaposition of crystals and glass in rocks have been described (Ch. 5; p. 42—74; figs. 23—37).

Classfication of igneous rocks according to mineral composition and texture is useful for their identification.

Mode of occurrence, distribution, petrography and origin of the major igneous rock types have been described. Tholeiitic basalt, alkali olivine basalt and their differentiation, layered-igneous complexes, massif-type anorthosites, alpine-type ultramafic rocks in orogenic belts, andesites and their world distribution with reference to plate tectonics, granitic rocks and their zones of emplacement, nepheline syenites, pegmatites and aplites with the role of volatile constituents, and lamprophyres are the main petrological problems (Ch. 6. p. 75—112, figs 38—46).

Differentiation, assimilation and mixing of magmas have been described as the processes for the diversification of igneous rocks. The distribution of igneous rocks in space and time, as also the relation between magma emplacement and orogenic deformation have been discussed (Ch. 7, p. 113—119, fig. 47).

Sedimentary Rocks :

Sediments may be formed by erosion of pre-existing rocks outside the basin of deposition (hence terrigenous), or by chemical precipitation within the basin (hence ortho chemical) ; a third group called allochemical sediments are those which were originally deposited in the basin, but were eroded and redeposited again within the same basin.

Character of the detrital material shows the nature of source rock, the agent of transportation and the environment of deposition.

The mineralogical composition of sediments have been discussed. The nature of grain, matrix and cement composing the sedimentary rocks is described. Sphericity, roundness and particle size have been introduced ; it is shown that the size frequency distribution provides significant data on the average size of the sediment, its range in size and sorting. Nature of bedding, including cross-bedding, graded bedding and ripple mark has a great variety (Ch. 8, p. 120—142, figs. 58—66).

Source, transportation and deposition of sediments are the essential aspects leading to the formation of a sedimentary rock. Sediments are provided by disintegration of source rocks followed by their decomposition.

Transportation of sediments is caused by water, ice and air. The load of sediments may be carried by a river as suspended load or bed load. Turbidity currents may be generated when a subaqueous sediment-loaded high density

current is formed which deposits graded bedded sediments (turbidites).

Environment of deposition may be terrigenous, such as alluvial fan, flood plain, lacustrine, desert, swamp and glacial. The marine environment can be neritic, bathyal or abyssal. Several important realms of deposition show mixed characters between terestrial and marine. The various depositional environments of the Bengal delta with 80,000 sq. km. area are described in term of the depositional environments, tectonics and sediments (Ch. 9, p. 143—162, figs. 67—73).

A brief classification of sedimentary rocks is given. The coarse clastic sedimentary rocks are represented by conglomerate and breccia. Sandstones form the most important medium-grained clastic rocks. The graywacke, subgraywacke, arkose, and orthoquartzite are the main classes of sandstone; their generalised environments of deposition have been discussed and depicted.

Shale, mudstone and siltstone are the common fine-grained clastic rocks. Black shales formed in reducing environment, siliceous shales and bentonites are formed generally from volcanic ash. Origin of chert, based on silica solubility, colloidal deposition and diagenetic processes, is discussed.

Carbonate rocks consist of limestone and dolomite; their mineralogy and classifications have been discussed. Dolomites (or dolostones) may be formed by primary precipitation, or penecontemporaneous replacement processes. Banded iron formations which are in general 3000-1800 million years in age, were formed as chemical precipitates. Evaporites, phosphorite and coal are the three rock groups having distinct modes of origin (Ch. 10, p. 164—195, figs. 74—80).

Average chemical composition of sediments and of major rock groups are given (Ch. 11, p. 196—197). The mechanism of sedimentary differentiation (V. M. Gold-

schimdt) and the subdivisions of the sedimentary environment by geochemical fences on the bases of hydrogen—ion concentration, and oxidation—reduction potential (W. C. Krumbein and R. Garrels) have been introduced. Several processes of lithification and diagenesis are finally discussed (Ch. 12, p. 198—202, fig. 81).

Metamorphic rocks :

Metamorphism is the process of transformation of pre-existing rocks under the influence of pressure, heat, and chemical action. The metamorphic rocks can be classified according to texture or by chemical composition. The characteristic minerals of metamorphic rocks are given (Ch. 13, p. 203—215, figs. 89—90).

Equilibrium in metamorphic rocks has been discussed by using the Phase Rule and general thermodynamic principles, such as regular distribution of elements among co-existing mineral phases.

The principle of zonal classification of metamorphic rocks (G. Barrow and C. E. Tilley) and the depth zone classification (F. Becke and U. Grubenmann) are given. The mineral facies of rocks developed by P. Eskola allows mineral assemblages in metamorphic rocks with different chemical compositions to be classified under a number of metamorphic facies, each of which is characterised by a definite P-T field (Ch. 14, p. 216—229, figs. 91—95).

The crystalloblastic growth of metamorphic minerals, the idioblastic series of minerals, structure and fabric of metamorphic rocks, textural criteria for the various time relationship between formation of metamorphic minerals and deformation have been described (Ch. 15, p. 230—237, fig. 96).

The metamorphic rocks can be grouped under thermal or contact metamorphism, cataclastic or dislocation metamorphism and regional or dynamo-thermal metamorphism ;

high pressure—high temperature metamorphic rocks are grouped under ultrametamorphism.

The characteristic textures and mineral compositions of rocks formed by cataclastic and thermal (or contact) metamorphism are given.

The textures and mineral assemblages of the main types of low-grade regionally metamorphic rocks (greenschist and epidote amphibolite facies) : slate, phyllite and schist, high-grade regionally metamorphic rocks (amphibolite facies) : schist, gneiss and amphibolite are described.

Rocks of granulite facies (those formed under the great depths of the katazone) include leptynite, khondalite, pyroxene granulites and charnockite. Rocks formed under eclogite facies include those formed at very high pressure at great depths in the crust (Ch. 16, p. 238—253, figs. 97—100).

Ultrametamorphism and granitization are the processes which take place at the border-line between metamorphism and the field of partial melting (anatexis) of rocks. Granitization is the process by which a rock is converted into one more like a granite, than it was before, in mineral composition, texture and structure (without going through a stage of enough mobility). It is shown that granites of granitization origin dominate among the granites emplaced in the Katazonal rocks (as defined by A. F. Buddington). (Ch. 17, p. 254—256). Basic principles of metasomatism and metamorphic differentiation have been explained (Ch. 18, p. 257—258).

সূচীপত্র

প্রস্তাবনা	iii
ইংরাজী সংক্ষিপ্তসার (English Abstract)	v
প্রথম অধ্যায়	
ভূমিকা	1
দ্বিতীয় অধ্যায়	
পৃথিবীর গঠন ও প্রধান প্রধান স্তরের উপাদান	2
ভূত্বকের উপাদান	6
পাথরের প্রাথমিক শ্রেণী বিভাগ	7
প্রস্তর গঠনকারী খনিজ	9
তৃতীয় অধ্যায়	
আগ্নেয় পাথরের বিভিন্ন আকার ও গঠন	14
নিঃসারী প্রস্তর	15
উদবেধী প্রস্তর	18
চতুর্থ অধ্যায়	
আগ্নেয় পাথরের শ্রেণীবিভাগ ও উপাদান	35
পঞ্চম অধ্যায়	
আগ্নেয় পাথরের প্রস্তুতি	42
সিলিকেট সিস্টেম	43
বিক্রিয়া পদ্ধতি	58
গ্রথন বা টেক্সচার ও ক্ষুদ্র গঠন	62
ষষ্ঠ অধ্যায়	
খনিজ এবং গঠন অনুসারে আগ্নেয় পাথরের শ্রেণী বিভাগ ও বিবরণ	73
সপ্তম অধ্যায়	
আগ্নেয় পাথরের বিবর্তনের প্রধান প্রধান পদ্ধতি	113
অষ্টম অধ্যায়	
পাললিক পাথর : ভূমিকা	120
পাললিক পাথরের খনিজ উপাদান	122
পাললিক পাথরের গ্রথন বা টেক্সচার	128
পলির দানার পরিমাপ	131
পাললিক পাথরের গঠন	135

নবম অধ্যায়

পলির উৎস, পরিবহণ ও অবক্ষেপণ 143

দশম অধ্যায়

পাললিক পাথরের শ্রেণীবিভাগ ও বিবরণ 164

একাদশ অধ্যায়

পাললিক পাথরের রাসায়নিক উপাদান 196

দ্বাদশ অধ্যায়

পাললিক পাথরের বিবর্তনের বিভিন্ন প্রক্রিয়া 198

ত্রয়োদশ অধ্যায়

রূপান্তরিত পাথর : ভূমিকা 203

পাথর রূপান্তরিত হওয়ার কারণ 203

রূপান্তরিত পাথরের শ্রেণী বিভাগ 210

রূপান্তরিত পাথরের খনিজ 213

চতুর্দশ অধ্যায়

রূপান্তরিত পাথরের সাম্য অবস্থা, গ্রেড, জোন ও ফেসিস 216

পঞ্চদশ অধ্যায়

রূপান্তরিত পাথরে খনিজের বৃদ্ধি ও আকার এবং পাথরের গঠন 230

ষোড়শ অধ্যায়

রূপান্তরিত পাথরের বিবরণ 238

বিচূর্ণন বা কাটাক্লাস্টিক রূপান্তর 240

উত্তাপ-জনিত রূপান্তর বা সংস্পর্শ রূপান্তর 242

কম মাত্রায় আঞ্চলিক রূপান্তরিত পাথর 245

উচ্চ মাত্রায় আঞ্চলিক রূপান্তরিত পাথর 248

সপ্তদশ অধ্যায়

আলট্রামেটামরফিজম এবং গ্রানাইটিজেশান 254

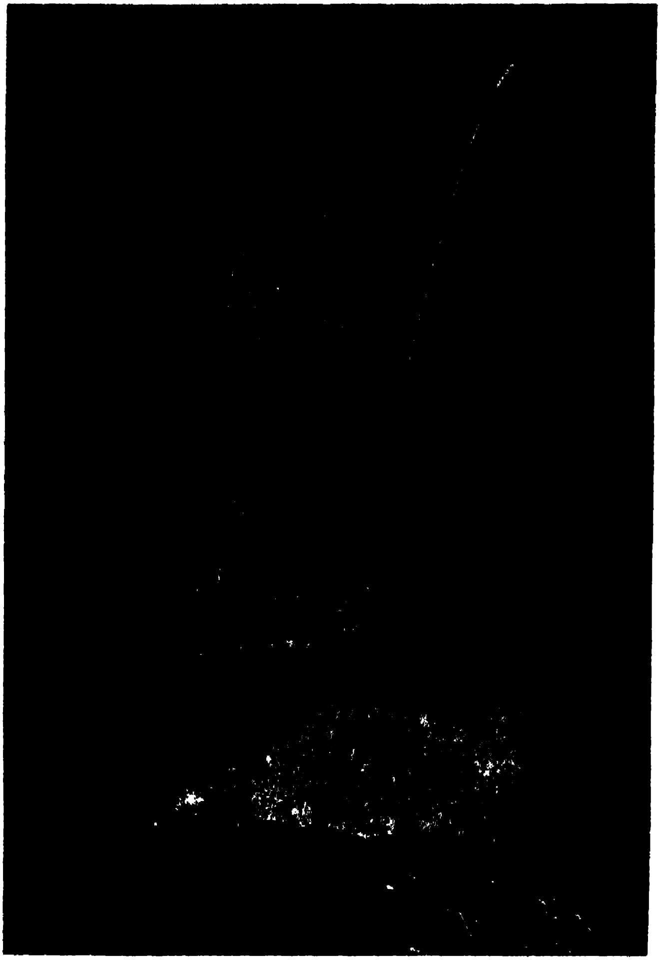
অষ্টাদশ অধ্যায়

মেটাসোম্যাটিজম ও মেটামরফিক ডিফারেন্সিয়েশান 257

গ্রন্থপঞ্জী 259

পরিভাষা 261

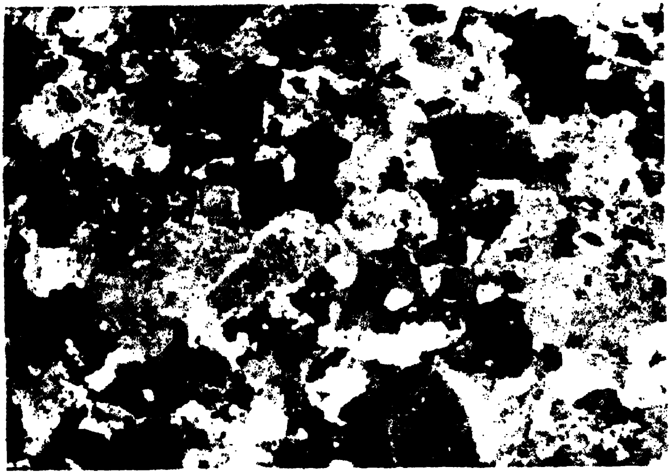
বিষয় সূচী 264



চিত্র 1

আগ্নেয়গিরির জ্বালামুখ থেকে বিস্ফোরণের সঙ্গে এ্যাণ্ডেসাইট লাভা উদ্গিরণ। প্যারাবোলিক রেখাগুলি আগ্নেয়গিরি থেকে তীব্রবেগে নির্গত লাল-উত্তপ্ত ভলকানিক বোমার যাত্রাপথ চিহ্নিত করছে। দক্ষিণ-পূর্ব জাপান।

(Geological Survey of Japan-এর সৌজন্যে)।



চিত্র ২

গ্রানাইট পাথর ঃ হিপইডিওমর্ফিক গ্রথনযুক্ত। প্রধান খনিজ প্লাগীওক্লেস (ইউহেড্রাল ও জোনযুক্ত), পটাশ ফেলসপার (সাবহেড্রাল) ও কোয়ার্টজ (এনহেড্রাল)। কুইবেক, কানাডা (A. Dc. 1961)। (×6, নিকলস +)

চিত্র ৩

ডায়োরাইট পাথর ঃ পয়কিলিটিক গ্রথনযুক্ত। বড় হর্ণব্লেন্ড কেলাসের মধ্যে প্লাগীক্লেসের বড় ইউহেড্রাল ল্যাথ আকারের কেলাস। আয়রণ ওর কাল ইউহেড্রাল দানা। বড় কেলাসের বাইরের ভূমিতে ছোটদানা আছে। ওয়েস্ট ইন্ডিজ। (×18, নিকলস +)

চিত্র 4

ব্যাসল্ট্ পাথর ঃ প্লাগীওক্লেস ল্যাথ ও অগাইট প্রধান খনিজ। প্লাগীওক্লেস ল্যাথগুলির মধ্যবর্তী স্থানে আছে সিলিকা-সমৃদ্ধ কাঁচ (চিত্রে ধূসর রংযুক্ত) ও তার মধ্যে গোল আকার অমিশ্রণীয় লোহা-সমৃদ্ধ তরল পদার্থের কাঁচ (high-iron immiscible liquid globules) (A. De, 1974) ও আয়রণ ওর-এর ইউহেড্রাল কেলাস। ডেকান ট্রাপ, কচ্ছ, গুজরাট।

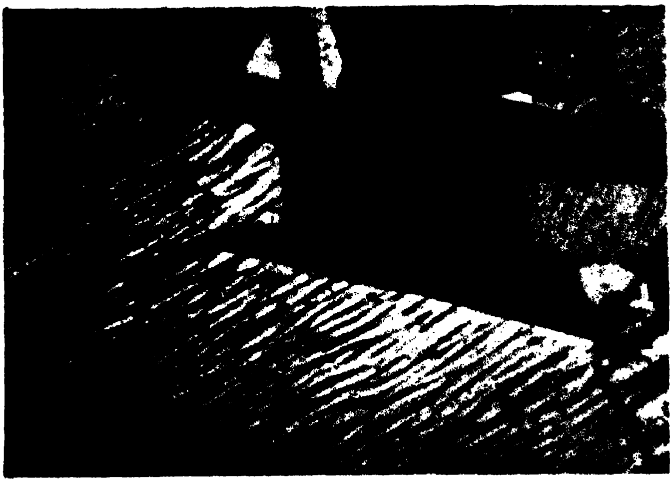
চিত্র ৫

ব্যাসল্ট্ পাথরে আয়রণ ওর-এর পয়কিলিটিক ইউহেড্রাল দানা ও তার মধ্যে আবদ্ধ প্লাগীওক্লেস ও পাইরক্সিন দানা (চিত্রে কাল)। ওর মাইক্রোস্কোপের দ্বারা আলোক চিত্র। ডেকান ট্রাপ, ছিন্দওয়ারা, মধ্যপ্রদেশ। (R. Bal, 1972)।

(চিত্র-4 : ×18 : চিত্র-5 : ×20)

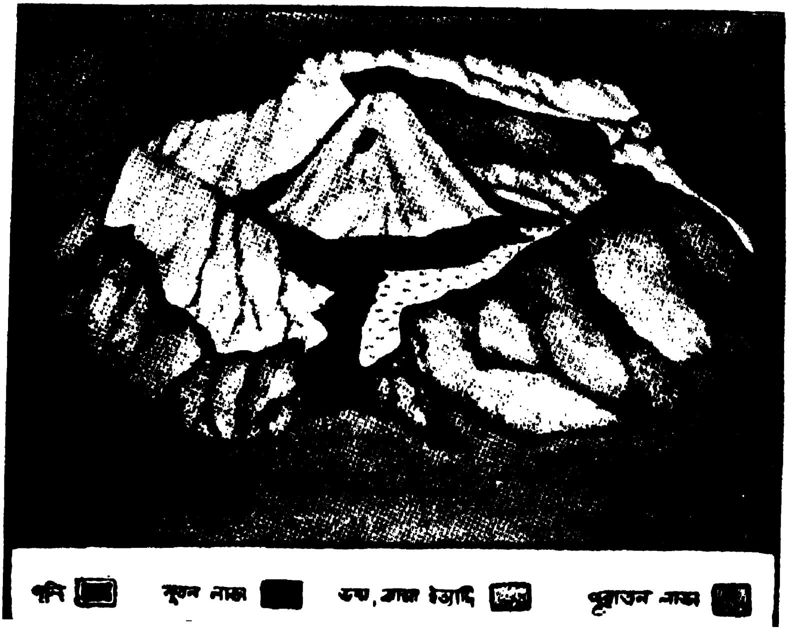
চিত্র 6

গ্রানোফায়ার পাথরে কোয়ার্টজ ও অর্থোক্লেস ফেলসপার গ্রানোফায়ারিক গ্রথনে পরস্পর অন্তর্বর্তী দানা হিসাবে আবদ্ধ আছে। বরদা পাহাড়, সৌরাষ্ট্র। (S. Basu 1975)। (× 18, নিকল্স +)



চিত্র 7

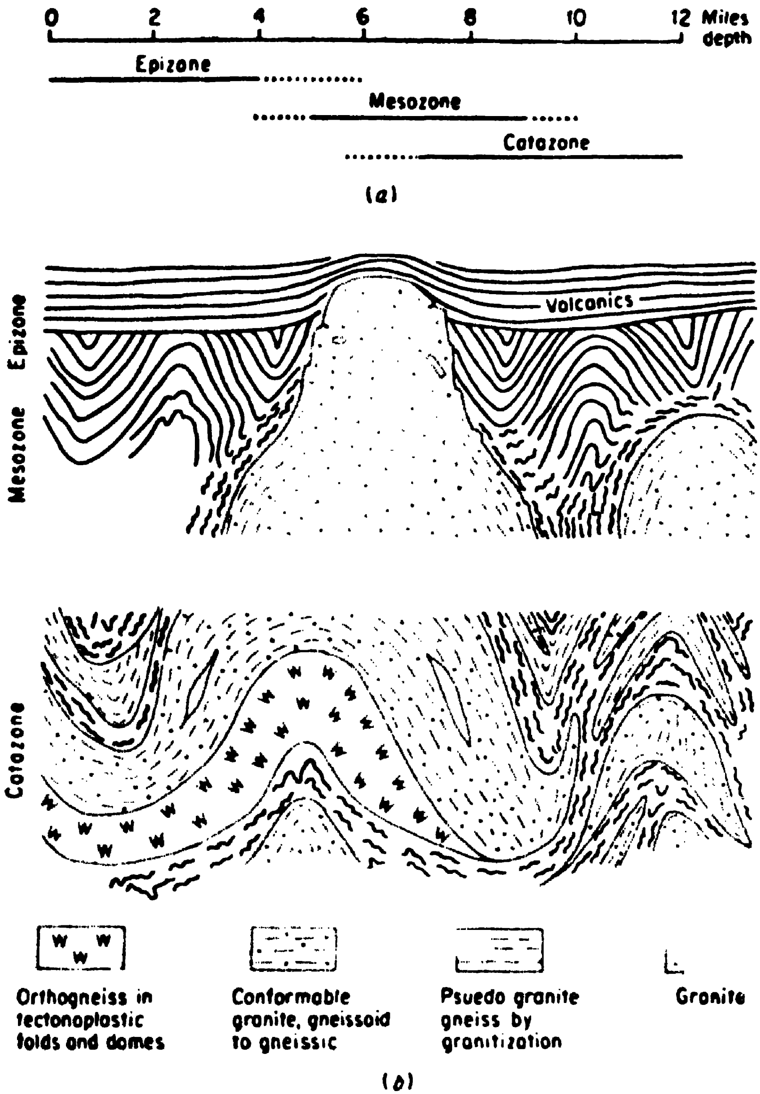
নেফিলিন সায়ানাইট পাথরে পার্থাইট দানা। পটাশ-ফেলসপারের জমিতে রেখার মত এলবাইটের পাতলা পাতের আকারে পার্থাইট "লামেলি" দেখা যায়। (অর্থোক্লেস ও এলবাইট প্রায় সমান পরিমাণে থাকায় একে মেসো-পার্থাইট বলা যায়)। চিত্রে বায়োটাইট ও নেফিলিন আছে। গিরনার পাহাড়, সৌরাষ্ট্র। (× 18)



চিত্র 10

আন্দামান দ্বীপপুঞ্জের ব্যারেন আইল্যাণ্ডে অবস্থিত আগ্নেয়গিরির বিভিন্ন অংশ।

(S. P. Das Gupta সৌজন্যে)



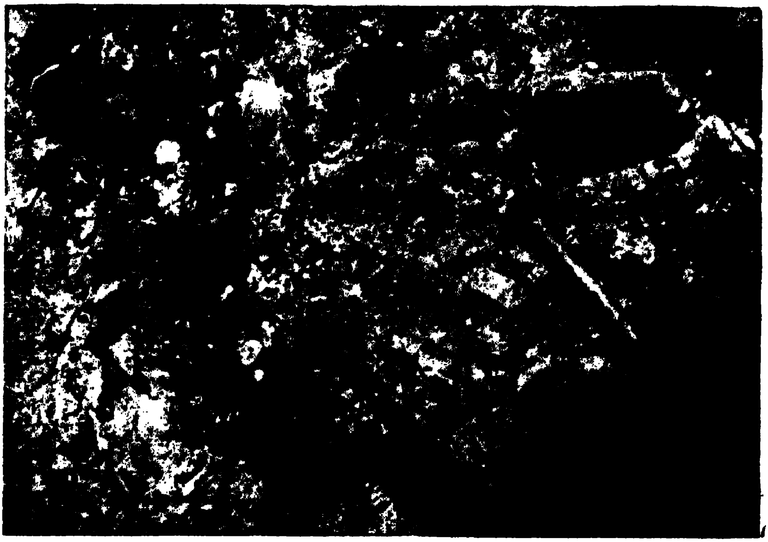
চিত্র 44

ভূত্বকের বিভিন্ন গভীরতায় গ্রানাইট অবয়বের অনুপ্রবেশ। Zones of Granite Emplacement of A. F. Buddington (Bulletin Geological Society of America. 1958 অনুসারে)।

উপরের ছবিতে এপিজোন, মেসোজোন ও ক্যাটাজোনের গভীরতা দেখান হয়েছে। নীচের ছবিতে এই জোনগুলির মধ্যে অনুপ্রবেশকারী গ্রানাইট অবয়বের বিশেষত্বগুলি দেখান হয়েছে।

চিত্র 48

আয়রণস্টোন শেল পাথরে সমান্তরাল স্তরায়ণ।



চিত্র 49

পের্বাল মাডস্টোন পাথর। তালচীর ফরমেশান। চিত্র 48-50 : দক্ষিণ কারানপুরা কয়লাখনি অঞ্চল।

চিত্র 50

রিপল মার্কযুক্ত বালি পাথর, রাণীগঞ্জ ফরমেশান।

চিত্র 51

গ্রেডেড বেডিংযুক্ত সিল্টস্টোন, তালচীর ফরমেশান। আওরাঙ্গা কয়লাখনি অঞ্চল।

(চিত্র 48-51 : I. Banerjee 1960, 1963; Quarterly Journal, Geological, Mining and Metallurgical Society of India অনুসারে)।

প্রথম অধ্যায়

ভূমিকা

পৃথিবী যে পদার্থের দ্বারা গঠিত তার মধ্যে কঠিন অংশগুলিকে প্রস্তরবিদ্যায় বা পেট্রলজী (Petrology)-তে গবেষণা করা হয় ও আলোচনা করা হয়। সাধারণতঃ ভূপৃষ্ঠের উপরে পাহাড়, উপত্যকা, নদী ও সমুদ্রতল ইত্যাদি স্থানে পাথরের অবস্থান লক্ষ্য করা যায় ও তার নমুনা সংগ্রহ করা যায়। এজন্য আপাতদৃষ্টিতে প্রস্তরবিদ্যা পৃথিবীর শুধু উপরিভাগের ভূত্বকের বিজ্ঞান বলে মনে করা যেতে পারে। ভূবিজ্ঞানীরা দেখেছেন যে পৃথিবীর গভীর অঞ্চল থেকে আসা হীরক-সমৃদ্ধ পাথর কোন কোন স্থানে পাওয়া যায়, আগ্নেয়গিরির মধ্যে গভীর অঞ্চলের পাথরের খন্ড পাওয়া যায় এবং তাছাড়া পৃথিবীর গভীর অঞ্চলের পাথর ভূআলোড়নের ফলে ভূত্বকে উপস্থিত হয়েছে বলেও প্রমাণিত হয়েছে। পৃথিবীর কেন্দ্রের কাছে কি আছে তা আমরা কখনও সরাসরি দেখতে পারি না, কিন্তু পৃথিবী থেকে দূরে সৌর জগতের কোন কোন অংশ থেকে ছিটকে এসে যে সব উল্কা পৃথিবীর বুকে পড়ে তাদের মধ্যে লৌহ-নিকেল ধাতু দ্বারা গঠিত এক জাতীয় উল্কা আছে—এই জাতীয় উল্কা থেকে আমরা পৃথিবীর গভীর অঞ্চল ও কেন্দ্র কি পদার্থে তৈরী হতে পারে তার বিকল্প নমুনা দেখতে পাই।

সাম্প্রতিক চন্দ্রাভিযানের ফলে চাঁদের পাথরের উপরে গবেষণা করা সম্ভব হয়েছে ও তার ফলে প্রমাণিত হয়েছে যে প্রস্তরবিদ্যার পরিধি পূর্বের মত ভূত্বকে আবদ্ধ নয়, এই বিজ্ঞানের প্রয়োগ সৌর জগতে পৃথিবীর সঙ্গে তুলনীয় অন্য গ্রহের (Terrestrial planets যেমন মঙ্গল ও শুক্র) এবং চন্দ্রের কঠিন উপাদানের উপর সমানভাবে করা চলে।

পাথরের নমুনা পুঙ্খানুপুঙ্খভাবে লক্ষ্য করা ও তার বিবরণ সংগ্রহ করাকে বলা হয় প্রস্তরবীক্ষণ বা শিলাবীক্ষণ (Petrography)। প্রস্তর বিদ্যার (Petrology) পরিধি আরও ব্যাপক, এর মধ্যে আছে প্রস্তরবীক্ষণ ও তার উৎপত্তি (প্রস্তরজনি, শিলাজনি—Petrogenesis) এবং এই বিষয়ে গভীরভাবে শেখার জন্য বিভিন্ন জ্ঞান আহরণ। পাথরগুলি পৃথিবীর অংশ এবং বহুক্ষেত্রে খুব প্রাচীন। পৃথিবীর বয়স 450 কোটি বছরের মত এবং প্রাচীনতম পার্থিব পাথরের বয়স 350 কোটি বছরের মত, এজন্য পাথরগুলি পৃথিবীর ইতিহাসের অমূল্য সাক্ষ্য বহন করে। পাথরগুলি আবার মানুষের প্রয়োজনীয় যাবতীয় খনিজ সম্পদের আধারস্বরূপ।

একটি কম প্রচলিত কথা হল—লিথোলজী (lithology), যার মধ্যে প্রস্তরবিদ্যা এবং জৈব উপায়ে সৃষ্ট চিহ্ন বা ছাপগুলি ধরা হয়।

দ্বিতীয় অধ্যায়

পৃথিবীর গঠন ও প্রধান প্রধান স্তরের উপাদান

ভূমিকম্পের ফলে যে ভূকম্পীয় ঢেউ (Seismic wave) সৃষ্টি হয় সেই ঢেউ পৃথিবীর মধ্যে দিয়ে যাওয়ার ধরণকে ভূপদার্থবিদেরা খুব সূক্ষ্মভাবে অনুসন্ধান করেছেন। ভূকম্পীয় ঢেউ যে মাধ্যমের মধ্যে দিয়ে যায় তার গতিবেগ সেই মাধ্যমের উপর নির্ভর করে; মাধ্যমের গুরুত্ব বেশী হলে গতিবেগ বেশী হয়। সমুদ্রের জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1-এর সামান্য বেশী ও তার মধ্যে এই ভূকম্পীয় ঢেউ-এর গতিবেগ প্রতি সেকেণ্ডে 1·5 কিঃমিঃ। আবার ব্যাসল্ট্ পাথর (যার গরুত্ব 2·9) তার মধ্যে এই গতিবেগ প্রায় 4 গুণ বেশী অর্থাৎ 5·1 থেকে 6·2 কিঃমিঃ/সেকেণ্ড।

দেখা গেছে যে পৃথিবীর উপরিভাগে ভূকম্পীয় ঢেউ-এর গতিবেগ সবচেয়ে কম এবং যত গভীর ভূগর্ভে প্রবেশ করে এর গতিবেগ তত বাড়ে। তাছাড়া দেখা গেছে যে ভূ-অভ্যন্তরে বিশেষ কতগুলি গভীরতায় হঠাৎ ঐ গতিবেগের বেশী পার্থক্য হয়। যেমন বড় বড় মহাসাগরের ক্ষেত্রে 10 কিঃমিঃ নীচে এবং মহাদেশগুলির ক্ষেত্রে 30—40 কিঃমিঃ নীচে ভূকম্পীয় ঢেউ-এর গতিবেগ বেড়ে যায় ও 7 থেকে 8 কিঃমিঃ/সেকেণ্ড হয়। গতিবেগের এই রকম তীব্র পার্থক্য পৃথিবীর অভ্যন্তরে পদার্থের physical nature-এর পরিবর্তনের জন্য হতে পারে, আবার ঐ পদার্থের রাসায়নিক উপাদানের পরিবর্তনের জন্যও হতে পারে।

Seismic data বিশ্লেষণ করে পৃথিবীকে তিনটি প্রধান ভাগে বিভক্ত করা যায়, যেমন—ভূত্বক (crust), ম্যান্ট্ল (mantle) ও কোর (core)। Geophysical সাক্ষ্য ছাড়া আরও অন্যান্য সাক্ষ্য, যেমন মৌলিক পদার্থের অনুপাত ও পরিমাণ কত আছে এবং বিভিন্ন প্রকারের উল্কার (meteorites) সঙ্গে পৃথিবীর বিভিন্ন অংশের তুলনা করে তাদের বিভিন্ন উপাদান সম্বন্ধেও ধারণা করা যায়।

উল্কা (meteorite) হল লোহা বা পাথরের মত পদার্থের খণ্ড এবং এগুলি পৃথিবীর বাইরে থেকে বায়ুমণ্ডল ভেদ করে এসে ভূপৃষ্ঠে পড়ে। বৈজ্ঞানিকরা মনে করেন যে উল্কা সূর্যের চারদিকে ঘোরে এবং সেই পরিভ্রমণ পথ থেকে বিচ্যুত হ'য়ে ছিটকে এসে পৃথিবীতে পড়ে। বৈজ্ঞানিকরা আরও মনে করেন যে উল্কা ভেঙ্গে-যাওয়া গ্রহ বা উপগ্রহের টুকরা।

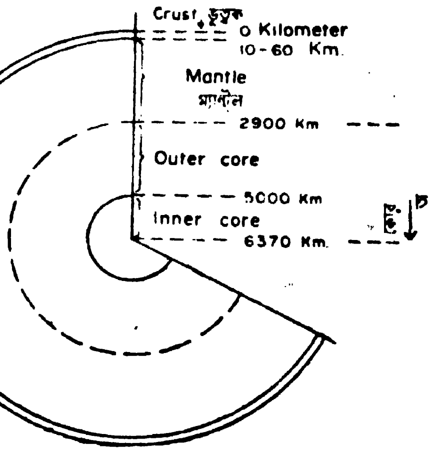
উল্কা প্রধানতঃ তিন প্রকারের হয়ঃ—

(1) Siderites or irons বা লোহ (শতকরা 98 ভাগ ধাতু)।

(2) Siderolites or stony irons বা পাথুরে লোহ (শতকরা 50 ভাগ ধাতু ও 50 ভাগ সিলিকেট)।

(3) Aerolites or stones বা পাথর।

(1) লোহ উল্কা নিকেল ও লোহার alloy (সাধারণতঃ 4—20% নিকেল থাকে)। (2) সিডেরোলাইটের মধ্যে দুই ভাগঃ— (a) pallasites জাতীয় উল্কাতে নিকেল-লোহ ও অলিভিন থাকে; (b) mesosiderite জাতীয় উল্কাতে ঐ ধাতু ছাড়া প্লাগীওক্লেস, পাইরক্সিন ও কম পরিমাণে অলিভিন থাকে। (3) এরোলাইট জাতীয় উল্কাকে Chondrite ও Achondrite এই দুই ভাগে ভাগ করা হয়।



চিত্র—8
পৃথিবীর অভ্যন্তরের গঠন

Chondrite জাতীয় উল্কার মধ্যে ছোট গোলাকার chondrule থাকে—অলিভিন ও পাইরক্সিন দিয়ে তৈরী, Chondrite-এর মধ্যে অলিভিন, পাইরক্সিন, নিকেল-লোহ, প্লাগীওক্লেস ও ট্রইলাইট (FeS) থাকে, ও কোন কোন ক্ষেত্রে কার্বন থাকে। Achondrite-এ chondrule থাকে না, এটি পৃথিবীর আগ্নেয় পাথরের মত উপাদান ও টেক্সচার যুক্ত।

মনে করা হয় যে পৃথিবীর গড় উপাদান উল্কার গড় উপাদানের মত; এবং Siderites জাতীয় উল্কার মত পৃথিবীর কোর লোহা-নিকেলে তৈরী। ম্যান্ট্‌ল এইভাবে ম্যাগনেশিয়াম ও লোহার সিলিকেটে তৈরী।

পৃথিবীর গঠন

	Thickness গভীরতা kms.	Mass ভর percent শতকরা	Important chemical character গুরুত্বপূর্ণ রাসায়নিক গুণ	Important physical character গুরুত্বপূর্ণ ফিজিক্যাল গুণ
Atmosphere বায়ুমণ্ডল	—	0.0009	N_2. O_2, H_2O, CO_2, (Inert gases), নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলি	Gas গ্যাস
Hydrosphere বারিমণ্ডল	3.80 (mean)	0.024	Salt and fresh water, snow and ice লবনাক্ত ও মিঠা জল তুষার ও বরফ	Liquid (in part solid) তরল (আংশিক কঠিন)
Crust ভূত্বক	17 (mean)	0·4	Normal silicate rocks সাধারণ সিলিকেট পাথর	Solid কঠিন
Mantle ম্যান্ট্‌ল	2883	67·2	Silicate material probably largely olivine pyroxene or their high pressure equivalents সিলিকেট পদার্থ সম্ভবত অলিভিন, পাইরক্সিন ও অধিক চাপে সৃষ্ট তাদের সমতুল্য পদার্থ	Solid কঠিন
Core কোর	3471	32·4	Iron-nickel alloy লোহা-নিকেল এ্যালয় (ধাতু)	Upper part liquid, lower part possibly solid উপরের অংশ তরল, নীচের অংশ সম্ভবতঃ কঠিন
Whole earth সমগ্র পৃথিবী	6371 (ব্যাসার্দ্ধ)	100·00		

মহাদেশের 30—40 কিঃমিঃ নীচে এবং মহাসাগরের 10 কিঃমিঃ নীচে ভূকম্পীয় ঢেউ-এর গতিবেগের যে তীব্র পার্থক্য (discontinuity) দেখা যায় তাকে বলা হয় Mohorovicic discontinuity বা মোহো (Moho)—ভূত্বক এর উপরে থাকে, এবং এর তলায় থাকে ম্যান্ট্ল (Mantle)। ভূত্বকের উপরের অংশ গ্রানাইটের মত উপাদান বিশিষ্ট, এজন্য একে Sial (অর্থাৎ Si এবং Al সম্বন্ধ পদার্থ) ও তার তলায় ভূত্বকের যে অংশ থাকে তাকে Sima (অর্থাৎ Si এবং Mg সম্বন্ধ পদার্থ) বলে। মোহোর তলা থেকে ম্যান্ট্ল আরম্ভ এবং সেইখান থেকে 400 কিঃমিঃ গভীরতা পর্যন্ত ম্যান্ট্লের উপরের অংশকে Upper mantle বলা হয়। এর তলায় আছে 600 কিঃমিঃ মোটা একটা Transition Zone যার তলা থেকে Lower mantle আরম্ভ। Dunite (olivine), peridotite (olivine এবং pyroxene) ও eclogite (garnet এবং pyroxene) এই তিন রকমের পাথরে ঠিক Upper mantle-এর মত ভূকম্পীয় গুণ দেখা যায়। কোন কোন আগ্নেয়গিরির অগ্ন্যুৎপাতের সময় dunite, peridotite এবং বিরলক্ষেত্রে eclogite-এর টুকরা (nodule) বার হয়ে আসে, এ ছাড়া দক্ষিণ আফ্রিকা ও অন্য কয়েকটি স্থানে kimberlite পাথরের অণুপ্রবেশ দেখা যায়, যার হীরকের তৈরীর জন্য যে চাপ ও তাপাঙ্ক দরকার তা 150 কিঃমিঃ নীচে ম্যান্ট্লের মধ্যেই সম্ভব। আবার dunite, peridotite ও eclogite এর খনিজের উপাদান থেকে প্রমাণিত হয়েছে যে এই পাথরগুলি Upper mantle-এর অংশ থেকে ভেঙ্গে আগ্নেয়গিরির উদ্গিরণের সময় বার হয়ে এসেছে। এই সব কারণে বৈজ্ঞানিকরা মনে করেন যে আপার ম্যান্ট্ল dunite, peridotite এবং বিরলস্থানে eclogite দিয়ে তৈরী।

লিথোস্ফীয়র (Lithosphere) ও **এস্থেনোস্ফীয়র** (Asthenosphere): আপার ম্যান্ট্লের মধ্যে 70—100 কিঃমিঃ গভীরতায় আরম্ভ এবং 100 কিঃমিঃ মোটা একটি স্তর আছে যাকে Low-velocity zone বলে কারণ এই স্তরে seismic wave এর গতিবেগ বেশ হ্রাস পায়। এই zone-টিতে কঠিন পাথরের মধ্যে সামান্য পরিমাণে গলিত পদার্থ (melt) আছে বলে এখন প্রমাণিত হয়েছে। এই zone-টিকে R. A. Daly নাম দিয়েছিলেন Asthenosphere। Asthenosphere এর উপরে যে কঠিন স্তর আছে তাকে বলা হয় Lithosphere—এর মধ্যে crust আছে ও Upper mantleএর Asthenosphereএর উপরের কঠিন স্তর (high velocity যুক্ত—50 কিঃমিঃ পর্যন্ত মোটা) আছে। পৃথিবীর বিভিন্ন জায়গায় Lithosphere টুকরা হয়ে Lithospheric

plate তৈরী করেছে। Lithosphere এর তলায় গলিত পদার্থযুক্ত Asthenosphere থাকায় এই plate গুলি প্রতি বছরে 1—10সেণ্টি-মিটার গতিতে চলন্ত রয়েছে। এই lithospheric plate-গুলি Ocean Floor Spreading এবং Plate Tectonics theory-তে বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ (চিত্র—43)। মনে করা হয় যে Asthenosphere-এ Upper mantle এর পাথর আংশিক গলিত হয়ে অনেক ক্ষেত্রে ব্যাসল্ট ম্যাগমা তৈরী করে এবং plate junction-গুলি অন্যান্য ম্যাগমার উৎপত্তিস্থল।

ম্যাণ্ট্‌লের যে অংশ 400 কিঃমিঃর থেকে 1000 কিঃমিঃর মধ্যে থাকে তাকে বলা হয় Transition zone; সেই অংশে অলিভিন ও পাইরক্সিন থাকে না, তবে এদের উপাদান spinel ও ilmenite এর মত গঠনে কেলাসিত থাকে ও এ্যাটমগুলি খুব ঘন সন্নিবিষ্ট থাকে। 1000 কিঃ মিঃ থেকে 2900 কিঃমিঃ গভীরের অংশ Lower mantle-এর উপাদান বেশ সমস্বত্বভাযুক্ত (homogencous) এবং $(MgFe)SiO_3$ ilmenite এর কেলাসের গঠনের আকারে কেলাসিত থাকে ও (MgFe)O periclase এর কেলাসের গঠনের আকারে থাকে বলে মনে করা হয়।

ম্যাণ্ট্‌ল থেকে কোরে প্রবেশের সময় ভূকম্পীয় ঢেউ-এ বেশী পার্থক্য দেখা যায়, কারণ Shear wave কোরের মধ্যে প্রবেশ করে না। এজন্য K. E. Bullen দেখিয়েছেন যে Core এর বাহিরের অংশ, Outer core, তরল অবস্থায় আছে। 5000 কিঃ মিঃ গভীরতা থেকে একেবারে পৃথিবীর কেন্দ্র পর্য্যন্ত Inner core কঠিন পদার্থে তৈরী। এই ভূকম্পীয় সাক্ষ্য থেকে সবদিক বিচার করলে পৃথিবীর কোর যে লোহার তৈরী একথা প্রমাণিত হয়। লোহার সংগে অল্প নিকেল ও সামান্য সোনা ও প্ল্যাটিনাম মিশ্রিত আছে।

ভূত্বকের উপাদান

ভূত্বককে প্রধানতঃ পাঁচটি ভূতাত্ত্বিক ভাগে বিভক্ত করা যায়, (1) গভীর মহাসমুদ্র অঞ্চল, (2) মহাদেশীয় (Shield) অঞ্চল, (3) নবীন ভাঁজ-যুক্ত পর্বতমালার বন্ধনী অঞ্চল (belt), (4) মহাদেশীয় প্ল্যাটফর্ম, (5) মহীঢাল। এই প্রত্যেক অঞ্চলের জন্য সেখানকার প্রধান পাথরের উপাদান থেকে A. Poldervaart (1955) হিসাব করে বার

করেছিলেন যে সমগ্র ভূত্বকের গড় উপাদান এইরূপ (শতকরা হিসাবে):

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O
55.2	15.3	2·8	5.8	0.2	5.2	8.0	2.9
K_2O	TiO_2	P_2O_5					
1.9	1.6	0.3					

ভূত্বকের প্রধান রাসায়নিক মৌলিক পদার্থগুলি এইরূপঃ

মৌলিক পদার্থ	ওজন (weight) শতকরা	আয়তন (volume) শতকরা
O	46·60	93·77
Si	27·72	0·86
Al	8·13	0·47
Fe	5.00	0·43
Mg	2·09	0 29
Ca	3·63	1·03
Na	2·83	1·32
K	2·59	1·83

V. M. Goldschmidt দেখিয়েছেন যে ভূত্বকের প্রায় সবটাই oxygen এর যৌগিক পদার্থে তৈরী, যেমন aluminium, calcium, magnesium, sodium, potassium ও iron এইগুলির সিলিকেট। ভূত্বকে এ্যাটমের সংখ্যা অনুসারে শতকরা 60 ভাগ অক্সিজেন আছে। আর আয়তন অনুসারে অক্সিজেন শতকরা 90 ভাগেরও বেশী। "The crust of the earth is essentially a packing of oxygen anions formed by silicon and the ions of the common metals."—Brian Mason (1966).

পাথরের প্রাথমিক শ্রেণীবিভাগ

পাথরগুলি খনিজদানার সমষ্টি। ভূবিজ্ঞানীরা পাথরগুলির খনিজ উপাদান অনুসন্ধান করেন এবং পাথরের বৈশিষ্ট্যগুলি থেকে যে পরিবেশে তাদের উৎপত্তি হয়েছিল সেই পরিবেশের সম্বন্ধে তথ্য সংগ্রহ করেন। এই সাক্ষ্যগুলি থেকেই পৃথিবীর ক্রমবিবর্তনের

ইতিহাস রচনা করা সম্ভব হয়। পৃথিবীর সমস্ত পাথরকে তিনভাগে বিভক্ত করা যায়। (1) আগ্নেয় পাথর, (2) পাললিক পাথর এবং (3) রূপান্তরিত পাথর।

আগ্নেয় পাথর (Igneous rock; Latin *ignis*=fire) : গলিত সিলিকা-সমৃদ্ধ পদার্থ (যাকে বলা হয় ম্যাগমা বা লাভা) ঠাণ্ডা হয়ে কেলাসনের ফলে খনিজদানা তৈরী হয় এবং সেইজন্য যে পাথর সৃষ্টি হয় তাকে আগ্নেয় পাথর বা আগ্নেয় প্রস্তর বলা হয়। আগ্নেয়গিরি থেকে লাভা উদ্গিরণ পৃথিবীর অনেক জায়গায় দেখা যায় : তবে গভীর ভূগর্ভেও আগ্নেয় পাথর তৈরী হয়। আগ্নেয় পাথরের খনিজগুলি উচ্চ তাপাঙ্কে তৈরী, যেমন অলিভিন, পাইরক্সিন, এ্যাণ্ডেসিন ইত্যাদি ; তাদের দানাগুলি পরস্পরের সঙ্গে খুব শক্তভাবে সংলগ্ন থাকে এবং তারা যে অবয়ব তৈরী করে সেগুলি লাভা প্রবাহের আকারে থাকে অথবা ভূত্বকের অন্য স্তরকে ভেদ করে উঠে থাকার মত অবস্থানে দেখা যায়। এই পাথরগুলির বেশী আপেক্ষিক গুরুত্ব হতে পারে।

পাললিক পাথর (Sedimentary rock; Latin *sedimentum* =settling) : স্তরে স্তরে পলি সঞ্চয় হয়ে ও তারপর উপরের স্তরের ভারের চাপে বা অন্য উপায়ে কঠিন হয়ে এই পাললিক পাথর বা শিলা তৈরী হয়। এই পাথরে ছোট বড় নানান মাপের পাথরের টুকরো বা কঠিন খনিজদানা থাকে, অথবা জীবদেহের অবশিষ্টাংশ থাকে। জল থেকে রাসায়নিক উপায়ে অবক্ষেপিত পদার্থও এইভাবে স্তরীভূত পাথর তৈরী করতে পারে। স্তরে স্তরে থাকা এই পাথরের বৈশিষ্ট্য এবং এর নিজস্ব খনিজগুলি সবই নিম্ন তাপাঙ্কে তৈরী, অন্য পাথর থেকে ক্ষয় হয়ে আসা খনিজগুলি এর মধ্যে থাকতে পারে। জীবাশ্ম পাললিক পাথরে থাকতে পারে কিন্তু আগ্নেয় পাথরে থাকে না। পাললিক পাথরের দানাগুলি সহজে আলাদা করা যেতে পারে, কোন কোন পাললিক পাথর ঐরূপ না হয়ে কঠিনভাবে দানাবদ্ধ থাকতে পারে।

রূপান্তরিত পাথর (Metamorphic rock: Greek *meta*+ *morphe*=change of form) : বহু আগে তৈরী হয়েছে যেসব পাথর (যেমন আগ্নেয় পাথর পাললিক পাথর এমনকি রূপান্তরিত পাথর) তাদের উপর রাসায়নিক ও ফিজিক্যাল অবস্থার পরিবর্তনের জন্য খনিজ সমাবেশের ও গঠনের রূপান্তর ঘটে ও এইভাবে রূপান্তরিত পাথরের সৃষ্টি হয়। চাপ, তাপমাত্রা ও জলীয় গ্যাসীয় পদার্থের রাসায়নিক কার্যকারিতা রূপান্তরিত হওয়ার সময় পাথরের উপর প্রভাব বিস্তার করে। রূপান্তরিত পাথরে আদি পাথরের খনিজ ও গঠনের অবশিষ্টাংশ থেকে যেতে পারে। এদের খনিজগুলি সমান্তরাল ভাবে থেকে

পত্রায়ন (foliation) বা রেখায়ন (lineation) তৈরী করতে পারে। খনিজদানাগুলি পরস্পরের সংগে শক্তভাবে সংলগ্ন থাকে। এই ধরণের পাথরে জীবাশ্ম অত্যন্ত বিরলক্ষেত্রে পাওয়া যেতে পারে।

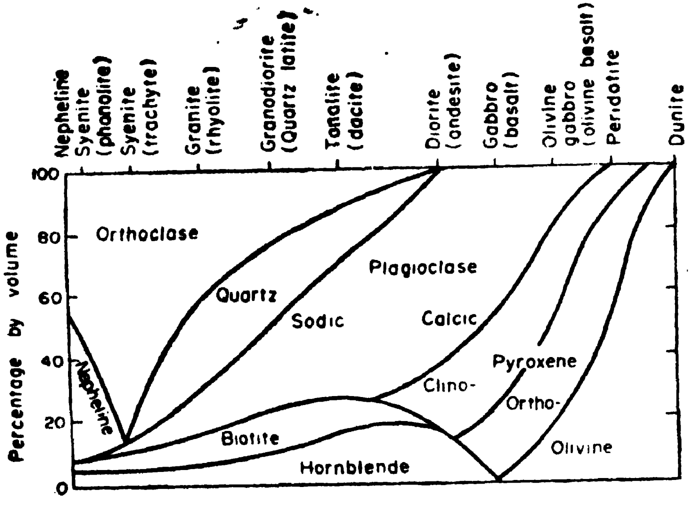
প্রস্তর গঠনকারী খনিজ

প্রায় সব সিলিকেটের এ্যাটমিক গঠনে একটি সিলিকন এ্যাটম চারটি অক্সিজেন এ্যাটমের মধ্যে অবস্থিত থাকে। এই চারটি অক্সিজেন সব সময় একটি টেট্রাহেড্রনের (tetrahedron) চার কোনে থাকে। এই সিলিকন-অক্সিজেন টেট্রাহেড্রা পরস্পরের সংগে বিভিন্ন ভাবে সম্পর্কযুক্ত হতে পারে ঃ এগুলি আলাদা আলাদা ভাবে তফাত থাকতে পারে অথবা এগুলি অক্সিজেন দ্বারা সংযুক্ত হয়ে থাকতে পারে।

সিলিকেটের গাঠনিক শ্রেণীবিভাগ

শ্রেণী বিভাগ	গাঠনিক ব্যবস্থা	Si : O অনুপাত	উদাহরণ
Nesosilicate	স্বাধীন টেট্রাহেড্রা	1 : 4	Forsterite, $Mg_2 SiO_4$
Sorosilicate	দুই টেট্রাহেড্রা একটি অক্সিজেনকে ভাগ (share) করে	2 : 7	Akermanite $Ca_2 Mg Si_2O_7$
Cyclosilicate	টেট্রাহেড্রার বদ্ধ বলয় প্রত্যেকটি 2টি অক্সিজেনকে ভাগ করেছে	1 : 3	Penitoite $Ba Ti Si_3O_9$ Beryl, $Al_2 Be_3 Si_6 O_{18}$
Inosilicate	টেট্রাহেড্রার একটি চেন, প্রত্যেকটি 2টি অক্সিজেনকে ভাগ করে	1 : 3	Pyroxenes, e.g. enstatite $Mg SiO_3$
	টেট্রাহেড্রার 2টি চেন, পরপর 2টি ও 3টি অক্সিজেনকে ভাগ করে	4 : 11	Amphiboles, e.g. Anthophyllite $Mg_7 (Si_4 O_{11})_2 (OH)_2$
Phyllosilicate	টেট্রাহেড্রার পাতের মত গঠন প্রত্যেকটি তিনটি অক্সিজেনকে ভাগকরে	2 : 5	Talc $Mg_3 Si_4O_{10} (OH)_2$ Phlogopite $KMg_3 (AlSi_3 O_{10}) (OH)_2$
Tektosilicate	টেট্রাহেড্রার কাঠামো প্রত্যেক টেট্রাহেড্রা চারটি অক্সিজেনকেই ভাগ করে	1 : 2	Quartz SiO_2 Nepheline $Na Al SiO_4$

যদিও এক হাজারের বেশী খনিজের (mineral) অস্তিত্ব জানা গেছে তাহলেও প্রস্তর গঠনকারী খনিজের সংখ্যা খুবই সীমিত। মাত্র সাতটি প্রধান খনিজ বা খনিজের শ্রেণী (group) আছেঃ— সিলিকা খনিজগুলি, ফেলসপার, ফেলসপাথয়েড্, অলিভিন, পাইরক্সিন, এম-ফিবোল এবং মাইকা। এছাড়া ম্যাগনেটাইট, ইলমেনাইট ও এপেটাইট সামান্য পরিমাণে পাওয়া যায়। পৃথিবীর 700 আগ্নেয় পাথর থেকে এদের গড় খনিজ উপাদান জানা গেছে : কোয়ার্টজ—12·0% ফেলসপার—59·5%, পাইরক্সিন এবং হর্ণব্লেড—16·8%, বাই-



চিত্র—9

সাধারণ প্লুটনিক আগ্নেয় পাথরের খনিজ উপাদান। ভলকানিক পাথরগুলির নাম বন্ধনীর মধ্যে।

য়োটাইট—3·8%, Fe-Ti খনিজ—1·50%, এপেটাইট—0·6%, এবং অন্যান্য 5·8%। বিভিন্ন আগ্নেয় পাথরের শতকরা উপাদান চিত্র—9 দেখান হয়েছে।

আগ্নেয় পাথরের খনিজ

আগ্নেয় পাথরের খনিজগুলি প্রধানতঃ সিলিকার বিভিন্ন কেলাসিত আকারগুলি (silica polymorphs) এবং Ca, Mg, Fe, Na ও K দ্বারা তৈরী এলুমিনোসিলিকেট খনিজগুলি (aluminosilicate minerals) এবং Fe ও Ti অক্সাইডগুলি এবং কাঁচ (অর্থাৎ সিলিকেট

গলন হঠাৎ ঠাণ্ডা হয়ে গিয়ে যে কাঁচ তৈরী হয়)। প্রধান খনিজগুলির নাম ও সংক্ষিপ্ত বিবরণ :

(1) কেলাসিত সিলিকা (silica polymorphs) SiO_2 :—

(a) কোয়ার্টজ (Quartz)

(b) ট্রিডিমাইট (Tridymite)

(c) ক্রিস্টোবালাইট (Cristobalite)

এদের মধ্যে কোয়ার্টজ অতি সচরাচর পাথরে পাওয়া যায়। শেষোক্ত দুটি বেশ বিরল।

(2) ফেলসপার (Felspars) :—

ফেলসপারকে প্রধানতঃ তিনটি প্রান্তিক খনিজ (end member mineral) দ্বারা আলোচনা করা যায়—(ক) পটাশ ফেলসপার, potash felspar, $KAlSi_3O_8$, (খ) সোডা ফেলসপার, soda felspar, $NaAlSi_3O_8$, (গ) লাইম ফেলসপার lime felspar, $CaAl_2Si_2O_8$। ম্যাগমা থেকে আগ্নেয় পাথরের কেলাসনের সময় Na^+, K^+ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যে ফেলসপার কেলাস তৈরী হয় তাদের এ্যালকালী ফেলসপার (Alkali felspar) বলা হয় ; Ca Al_3 যদি Na Si_4 কে ফেলসপারের এ্যাটমিক গঠনে প্রতিস্থাপন করে তাহলে প্লাগীওক্লেস ফেলসপার (Plagioclase felspar) বলা হয়। এ্যালকালী ফেলসপারের মধ্যে অতি সামান্য পরিমাণে লাইম ফেলসপার কেলাসিত দ্রবণ হিসাবে থাকতে পারে। অনুরূপভাবে প্লাগীওক্লেস ফেলসপারে অতি সামান্য পটাশ ফেলসপার কেলাসিত দ্রবণ হিসাবে থাকতে পারে। এজন্য এ্যালকালী ফেলসপার ও প্লাগীওক্লেস দুইটি বিভিন্ন সিরিজ (series) সৃষ্টি করে।

এ্যালকালী ফেলসপারের মধ্যে উচ্চ তাপাঙ্কে ভলকানিক অবস্থায় কেলাসন হলে অর্থোক্লেসের স্থানে সানিডিন (মনোক্লিনিক কেলাসযুক্ত) ও সোডিক এ্যালকালী ফেলসপার—এ্যানরথোক্লেস (anorthoclase) (ট্রাইক্লিনিক কেলাসযুক্ত) কেলাসিত হয়। প্লুটনিক অবস্থায় ধীরে কেলাসিত হলে অর্থোক্লেস (orthoclase) ও এলবাইট (albite) বিভিন্ন অনুপাতে মিশ্রিত থেকে কেলাসিত দ্রবণ এ্যালকালী ফেলসপার তৈরী করতে পারে।

প্লাগীওক্লেস সিরিজে ভলকানিক অবস্থায় অথবা প্লুটনিক অবস্থায়—উভয় ক্ষেত্রে এক প্রান্তিক খনিজ থেকে অন্য প্রান্তিক খনিজ (অর্থাৎ এলবাইট থেকে এনরথাইট) পর্যন্ত উপাদান বিশিষ্ট সম্পূর্ণ কেলাস দ্রবণ (complete solid solution) তৈরী হয়। ভলকানিক

পাথরগুলিতে যে প্লাগীওক্লেস থাকে তাদের আণুবীক্ষণিক বৈশিষ্ট্য, এবং X-ray দ্বারা জানা যায় এমন বৈশিষ্ট্যের সাহায্যে প্লুটোনিক পাথরের প্লাগীওক্লেস থেকে তফাত করা যায়।

একই রাসায়নিক সংযুতিযুক্ত একাধিক খনিজ, যাদের কেলাসন বিভিন্ন রূপের হয় (different crystallographic forms) তাদের মধ্যে পলিমর্ফিজম দেখা যায় (পরে আলোচনা করা হয়েছে)।

(3) পাইরক্সিন (Pyroxenes) :—

পাইরক্সিন প্রধানতঃ 4টি প্রান্তিক খনিজ অণু দিয়ে তৈরী, (ক) ডাইঅপসাইড (Diopside, $CaMgSi_2O_6$), (খ) হেডেনবার্জাইট (Hedenbergite, $CaFeSi_2O_6$), (গ) এন্সটাটাইট (Enstatite, $MgSiO_3$) ও (ঘ) ফেরোসিলাইট (Ferrosilite, $FeSiO_3$).

এই পাইরক্সিনগুলির মধ্যে আছে অগাইট (Augite) যার সংযুতি অনেকটা ডাইঅপসাইডের মত এবং ফেরোঅগাইট (Ferroaugite) $CaFeSi_2O_6$ সমৃদ্ধ হতে পারে। এগুলির মধ্যে Al ও Ti কিছু পরিমাণে অন্য এ্যাটমগুলিকে প্রতিস্থাপন করতে পারে। আগাইট মনোক্লিনিক (monoclinic) পাইরক্সিন।

অর্থোরম্বিক (Orthorhombic) পাইরক্সিন গ্রুপে আছে এন্সটাটাইট, হাইপারস্থিন জাতীয় পাইরক্সিনগুলি। এদের মধ্যে Ca অত্যন্ত কম থাকে। Ca সামান্য বেশী থাকলে ও কেলাসগুলি মনোক্লিনিক জাতীয় হলে পিজিওনাইট (Pigeonite) ও ফেরোপিজিও-নাইট (Ferropigeonite) জাতীয় পাইরক্সিন বলা হয়—এদের অপটিক এক্সিয়াল এ্যাঙ্গল্ (Optic axial angle), 2V শূন্য ($0°$) অথবা খুব কম ডিগ্রী হয়।

পাইরক্সিন সোডাযুক্ত থাকলে আইজিরীন (Aegirine), $NaFe^{+++}Si_2O_6$ বলা হয়। এগুলি এ্যালকালী বা ক্ষারীয় আগ্নেয়-পাথরে পাওয়া যায়।

(4) অলিভিন (Olivines) :—

ফর্স্টেরাইট (Forsterite) Mg_2SiO_4 ও ফায়ালাইট (Fayalite) Fe_2SiO_4 এই দুই প্রান্তিক খনিজের অণু বিভিন্ন অনুপাতে কেলাসিত দ্রবণ হিসাবে থাকতে পারে। ফর্স্টেরাইট—সমৃদ্ধ অলিভিন আল্ট্রাম্যাফিক ও বেসিক পাথরে পাওয়া যায়।

(5) এমফিবোল (Amphiboles) :—

প্রধানতঃ হর্ণব্লেণ্ড জাতীয় এমফিবোল আগ্নেয়পাথরে পাওয়া যায়। এর মধ্যে আছে পারগাসাইট (Pargasite) Na Ca_2 $(Mg, Fe^{++})_4$

$Al_2 Si_8 O_{22} (OH)_2$ হর্ণব্লেন্ডগুলিতে বিভিন্ন মৌলিকের প্রতিস্থাপন সম্ভব। এ্যালকালী এমফিবোলগুলির মধ্যে আছে রীবেকাইট (Riebeckite) $Na_2Fe_3^{++}$ $Fe_2^{+++} Si_8 O_{22} (OH)_2$

(6) মাইকা (Micas) :—

(ক) মাসকোভাইট, অভ্র (Muscovite) $KAl_2AlSi_3O_{10}(OH)_2$ গ্রানাইটিক পাথরের প্রধান মাইকা অর্থাৎ অভ্র জাতীয় খনিজ। এর মধ্যে Na এবং K প্রতিস্থাপন করতে পারে।

(খ) ফ্লোগোপাইট (Phlogopite) $K Mg_3 Al Si_3 O_{10} (OH)_2$ কিম্‌বারলাইট (Kimberlite) ও ল্যামপ্রোফায়ার পাথরে দেখা যায়। Fe^{++}, Mg^{++}-কে প্রতিস্থাপন করতে পারে এবং Fe^{+++} ও Al^{+++} সেইরূপ Mg^{++} ও Si^{4+}কে প্রতিস্থাপন করতে পারে—এই মাইকাকে বায়োটাইট (Biotite) বলা হয়। বায়োটাইট আগ্নেয় পাথরের অন্যতম প্রধান ম্যাফিক খনিজ।

(7) ফেলসপ্যাথয়েড (Felspathoids) :—
ভলকানিক বা হিপএ্যাবিসাল পাথরে পাওয়া যায়।

(ক) নেফিলিন (Nepheline, $NaAlSiO_4$) ভলকানিক ও প্লুটনিক পাথরে পাওয়া যায়।

(খ) লিউসাইট (Leucite, $KAlSi_2O_6$) পটাশ সমৃদ্ধ ভলকানিক বা হিপএ্যাবিসাল পাথরে পাওয়া যায়।

(গ) সোডালাইট (Sodalite, $Na_8Al_6Si_6O_{24}Cl_2$) সায়ানাইট জাতীয় পাথরে পাওয়া যায়।

(8) আয়রন ও টাইটেনিয়াম অক্সাইড (Fe Ti Oxides) এর মধ্যে আছে ম্যাগনেটাইট (Magnetite, Fe_3O_4), ইলমেনাইট (Ilmenite $FeTiO_3$) ও হেমাটাইট (Hematite, Fe_2O_3)।

তৃতীয় অধ্যায়

আগ্নেয় পাথরের বিভিন্ন আকার ও গঠন

গলিত অর্থাৎ প্রায় তরল অবস্থা থেকে ঠান্ডা হওয়ার জন্য দানা বেঁধে যে সব পাথর তৈরী হয়, তাদের বলা হয় আগ্নেয় পাথর (Igneous rock) বা ম্যাগমাটিক পাথর (Magmatic rock)। পৃথিবীর নানা জায়গায় বহু সক্রিয় আগ্নেয়গিরি আছে, এই সব আগ্নেয়গিরি থেকে অত্যন্ত গরম গলিত লাভা বেরিয়ে আসে। এই লাভাপ্রবাহ আগ্নেয়-গিরি থেকে বার হওয়ার পর ঠান্ডা হয়ে নিঃসারী আগ্নেয় পাথর (extrusive igneous rock) তৈরী হয়।

পৃথিবীর অভ্যন্তরে যে গলিত পদার্থ থাকে তাকে ম্যাগমা (magma) বলা হয়। এই গলিত পদার্থ বা ম্যাগমার মূল উপকরণ গলিত সিলিকেট (Silicate melt)। তার মধ্যে জল (Water) এবং অন্যান্য বায়বীয় পদার্থ দ্রবীভূত থাকে। এই ম্যাগমা ভূপৃষ্ঠের উপর বেরিয়ে এলে তাকে বলা হয় লাভা (Lava)। ভূপৃষ্ঠের কাছে চাপ কম থাকার ফলে ম্যাগমা থেকে নানা রকম বায়বীয় পদার্থ ও বাষ্প বার হয়ে গিয়ে লাভায় পরিণত হয়। বায়বীয় পদার্থ বার হওয়ার সময় অনেক ক্ষেত্রে তরল-প্রায় লাভার মধ্যে বুদবুদের সৃষ্টি হয়; লাভা কঠিন হয়ে গেলেও এই বুদবুদ-আকার গর্তগুলি অনেক সময় থেকে যায়, এদের বলা হয় ভেসিকল (Vesicle)।

ম্যাগমা পৃথিবীর অভ্যন্তর থেকে উপরের দিকে বেরিয়ে আসার চেষ্টায় পাথরের স্তরের মধ্যে ঠেলে উঠে (অথবা বিদার অর্থাৎ fissure ও অন্যান্য জায়গায় প্রবেশ করে) তখন সেই অবস্থায় ভূপৃষ্ঠের নীচে ঠান্ডা হয়ে গেলে উদবেধী (intrusive) আগ্নেয় পাথরের একটি অবয়ব (body) সৃষ্টি হয়। সুতরাং উদবেধী আগ্নেয় পাথর ভূপৃষ্ঠের উপর তৈরী হয় না এবং আস্তে আস্তে ঠান্ডা হয় ও ভালভাবে দানা বাঁধে। ভূপৃষ্ঠের নীচে স্থানীয় পাথরের (Country rock) স্তরের মধ্যে অনুপ্রবেশিত হয়ে তৈরী হওয়ার জন্য উপরের পাথরের স্তর (স্থানীয় পাথর বা Country rock-এর স্তর) ক্ষয় পেয়ে অপসারিত হয়ে গেলে আমরা উদবেধী আগ্নেয় পাথরের অবয়ব দেখতে পাই।

নিঃসারী (extrusive) বা ভলকানিক (volcanic) পাথর ভূপৃষ্ঠের উপরে বাতাসের স্পর্শে এসে তাড়াতাড়ি ঠান্ডা হয়। এজন্য

এইসব পাথরের দানাগুলি খুব ছোট হয়। এমনকি অনেক লাভা এত তাড়াতাড়ি ঠান্ডা হয়ে পড়ে যে তার অনেক অংশ কাঁচে (volcanic glass) পরিণত হয়। এই সব পাথরের মধ্যে প্রবাহের চিহ্ন থাকে, কারণ ভূপৃষ্ঠের উপর লাভা প্রবাহিত হওয়ার সময় দানা বাঁধার জন্য এই সকল পাথরের সৃষ্টি হয়। এগুলিকে বলা হয় লাভা ফ্লো (lava flow) বা লাভাপ্রবাহ।

উদবেধী (intrusive) পাথরের মধ্যে কাঁচ থাকে না এবং ভেসিক্‌ল্‌ও থাকে না। তাছাড়া এরকম পাথরের দানাও বেশ বড় হয়। অবশ্য সামান্য ব্যতিক্রম দেখা যেতে পারে।

নিঃসারী প্রস্তর (Extrusive rocks)

লাভাপ্রবাহগুলি পীঠক আকার (tabular) আগ্নেয় পাথরের অবয়বরূপে (body) জমাট বাঁধে এবং এগুলির অণুভূমিক (horizontal) বিস্তারের তুলনায় এরা বেশ পাতলা হয়। এরা কয়েক একর থেকে আরম্ভ করে কয়েক শত বর্গমাইল পর্যন্ত বিস্তৃত হতে পারে। সাধারণতঃ এক একটী লাভা ফ্লো কয়েক ফুট থেকে আরম্ভ করে 50—100 ফুট পর্যন্ত গভীর (thick) হয়। লাভার উপরিভাগ বেশ মসৃণ হতে পারে, বা মসৃণতাযুক্ত ঢালুভাবে উঁচু-নীচু হতে পারে। লাভার উপরভাগ পাকান মোটা দড়ির মত দেখাতে পারে তখন একে বলা হয় রোপী লাভা (ropy lava)। এইসব বিশেষত্বগুলি থাকলে সেই লাভাকে পা-হয়ে-হয়ে লাভা(Pahoehoe lava) বলে।

লাভার উপরভাগ ছোটছোট খোঁচা খোঁচা টুকরায় বিশিষ্ট হলে তাকে আ-আ লাভা (Aa lava) বলে। পা-হয়ে-হয়ে ও আ-আ এই কথা দুটির উৎপত্তি প্রশান্ত মহাসাগরের মধ্যে অবস্থিত আগ্নেয়গিরি-সঙ্কুল হাওয়াই দ্বীপের অধিবাসীদের ভাষা থেকে। খোঁচা খোঁচা দাঁড়া (spine) না থাকলে টুকরা টুকরা লাভাকে বলা হয় ব্লক লাভা (block lava)।

লাভাপ্রবাহ ভূপৃষ্ঠের বিদারের (fissure) মধ্য দিয়ে বার হয়ে প্রবাহিত হলে তাকে বলা হয় বিদার-উদ্গিরণ (fissure eruption)। অনেক আগ্নেয় অঞ্চলে এই বিদারগুলি ঝাঁকে ঝাঁকে থাকে এবং তাদের মধ্যে দিয়ে অত্যন্ত উত্তপ্ত (প্রায় 1100° সে, এর মত তাপাঙ্ক) লাভার স্রোত বন্যার মত প্রবাহিত হয়ে শত শত বর্গমাইল এলাকায়

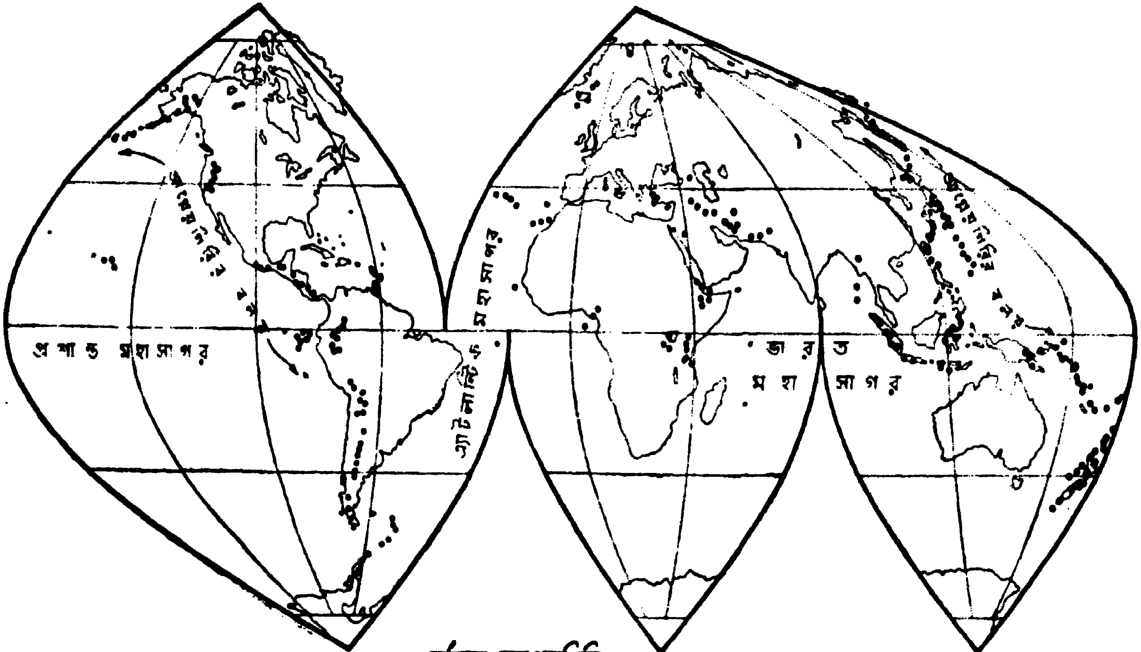
একের পর এক লাভাপ্রবাহ বিস্তার করে এবং তার জন্য কয়েক হাজার ফুট উঁচু মালভূমি সৃষ্টি হতে পারে।

ভারতবর্ষের দাক্ষিণাত্যে এই রকম একটি বিশাল বিদার-উদ্গিরণ (fissure-eruption) অঞ্চল আছে। এই অঞ্চলে কৃটাসিয়াস-ইয়োসিন যুগে লাভা উদ্গিরণ হয়েছিল এবং এদের বলা হয় ডেকান ট্রাপ্‌স (Deccan Traps)। এই অঞ্চলে বর্তমানে 2 লক্ষ বর্গমাইল (অর্থাৎ ভারতের সমগ্র স্থল এলাকার এক-ষষ্ঠাংশ) বিস্তারিত স্তরে স্তরে গঠিত লাভাপ্রবাহ আছে (মানচিত্র—40)। এই লাভা পাথর এক এক অঞ্চলে কয়েক হাজার ফুট উঁচু মালভূমি (plateau) তৈরী করেছে। এই লাভাগুলি ব্যাসল্ট্ পাথরের। বিদার-উদ্গিরণ ছাড়াও অগ্ন্যুৎপাতের একটি বিশেষরূপ হল কেন্দ্রীভূত উদ্গিরণ (central eruption), যার ফলে বিরাট আগ্নেয়গিরি সৃষ্টি হয়। পরিপার্শ্ব থেকে সুউচ্চ অগ্ন্যুৎপাত কেন্দ্র যার মধ্যে দিয়ে লাভা উদ্গিরণ হয়, তাকে বলা হয় আগ্নেয় কোণ (Volcanic cone)।

আগ্নেয়গিরির শীর্ষে একটি সরা বা কড়াই-এর মত এক গভীর গহ্বর থাকে, যাকে বলা হয় জ্বালামুখ (crater) (চিত্র—12)। যে খাড়া নলের মত সুড়ঙ্গপথ (conduit) দিয়ে গভীর ভূগর্ভে থেকে আগ্নেয়গিরিতে লাভা আসে, জ্বালামুখ বা ক্রেটার ঠিক তারই উপর অবস্থিত থাকে। আগ্নেয়গিরির অগ্ন্যুৎপাতের ফলে জ্বালামুখ অঞ্চল ধ্বসে ভিতরে পড়ে যে গভীর গহ্বর তৈরী হয় তাকে বলা হয় কালডেরা (caldera)। চিত্র—10-এ ব্যারেন আইল্যাণ্ডের আগ্নেয়গিরির বিভিন্ন অংশ দেখান হয়েছে।

অনেক সময় একটি বিশাল সুগভীর কালডেরাতে গভীর ভূগর্ভ থেকে লাভা এসে তরল লাভার হ্রদ (lava lake) সৃষ্টি করে।

পৃথিবীবিখ্যাত আগ্নেয়গিরিগুলির মধ্যে আছে দক্ষিণ ইউরোপের বিসুভিয়াস ও মাউণ্ট এটনা। ভূমধ্যসাগরে অবস্থিত সিসিলি দ্বীপে মাউণ্ট এটনা সমুদ্রপৃষ্ঠ থেকে 1100 ফুট উঁচু ও এর তলদেশ (base) 30 মাইল ব্যাস বিশিষ্ট। ভারতীয় এলাকায় বঙ্গোপসাগরে ব্যারেন আইল্যাণ্ডে (Barren Island) আগ্নেয়গিরি আছে। এর মধ্যে থেকে 1789 সালে শেষ অগ্ন্যুৎপাত দেখা গিয়েছিল। প্রশান্ত মহাসাগরের মধ্যস্থলে হাওয়াই দ্বীপে (Hawaiian Islands) অনেক আগ্নেয়-গিরি আছে যাদের মধ্যে জীবন্ত আগ্নেয়গিরিগুলির নাম হ'ল, কিলাউইয়া (Kilauea) ও মাওনালোয়া (Mauna Loa)। এরা প্রশান্ত মহাসাগরের তলা থেকে 30 হাজার ফুট উঁচু ও সমুদ্রপৃষ্ঠ থেকে



• বর্তমান আগ্নেয়গিরি

চিত্র—11

পৃথিবীর বর্তমান আগ্নেয়গিরিগুলির অবস্থানের মানচিত্র

14000 ফুট উঁচু। আর অন্যান্য বিখ্যাত জীবন্ত আগ্নেয়গিরি হ'ল মেক্সিকোর পারিকুটিন (Paricutin), আইসল্যাণ্ডের সার্টসী (Surtsey), জাপানের ওসামা (Osama)।

1975 সালে পৃথিবীর বিভিন্ন অঞ্চলে 23টি আগ্নেয়গিরি থেকে অগ্ন্যুৎপাত চলেছে। ছবিতে পৃথিবীর বর্তমান Volcanic belt-গুলি দেখান হয়েছে।

পাইরোক্লাস্টিক অবক্ষেপ (Pyroclastic deposits) : অগ্ন্যুৎপাতের সময় আগ্নেয়গিরি থেকে তরল লাভাপ্রবাহ ছাড়া প্রচুর পরিমাণে গ্যাস বার হয় এবং বিস্ফোরণের সঙ্গে অতি সূক্ষ্ম থেকে আরম্ভ করে বৃহৎ পাথরের টুকরা চারদিকে ছড়িয়ে পড়ে। এই টুকরা টুকরা আগ্নেয় পাথর সঞ্চিত হয়ে যে অবক্ষেপ (deposit) তৈরী করে তাকে পাইরোক্লাস্টিক ডিপোসিট্ বলে। এইরূপ বিস্ফোরণ কিছুকাল অন্তর অন্তর হবার জন্য আগ্নেয়গিরির অভ্যন্তরে লাভা কঠিনতা প্রাপ্ত হওয়ার সময় পায় তাই বিস্ফোরণের সময় সেই কঠিন লাভা ভেঙ্গে টুকরা টুকরা হয়ে যায়। বৃহৎ টুকরাগুলি জ্বালামুখের চার-পাশে ছড়িয়ে পড়ে, এইভাবে যে পাথরের সৃষ্টি হয় তাকে বলা হয় এগ্লোমারেট (agglomerate)। ছোট ছোট টুকরাগুলি আরও বেশী দূরে ছড়িয়ে পড়ে সৃষ্টি করে লাপিলি (lapilli)। সবচেয়ে সূক্ষ্ম ধুলার মত পদার্থগুলি আগ্নেয়গিরির কাছ থেকে আরম্ভ করে বহুদূর পর্যন্ত বাতাসের মাধ্যমে ছড়িয়ে পড়ে এবং আগ্নেয়গিরি-সঞ্জাত ধূলির (Volcanic ash) বা বালির স্তর (deposit) তৈরী করে। কঠিনতা প্রাপ্ত হয়ে এইভাবে যে পাথর তৈরী হয় তাকে বলা হয় ভলকানিক টাফ্ (Volcanic tuff)। সেই রকম লাপিলি থেকে যে পাথর তৈরী হয় তাকে বলা হয় লাপিলি টাফ্।

এই সকল পাইরোক্লাস্টিক পাথরগুলির মধ্যে ভলকানিক বিশেষত্ব ছাড়াও পাললিক পাথরের বিশেষত্ব থাকে। কারণ ভলকানিক টুকরা বা ধূলিকণা পাললিক পাথরেরই মত স্তরে স্তরে সঞ্চিত হয়ে এইসব পাথর তৈরী করে।

উদবেধী প্রস্তর (Intrusive Rocks)

ভূত্বকের পাথরের স্তরের মধ্যে ম্যাগমার অনুপ্রবেশ (injection) হলে তাকে ইনট্রুশান (intrusion) বলা হয়। ইনট্রুশানগুলি কি আকার ধারণ করবে তা নির্ভর করে ঐ অঞ্চলের ভূতাত্ত্বিক গঠন এবং

স্থানীয় পাথরের নিজস্ব গঠনের উপর, যেমন স্থানীয় পাথরের স্তরায়ন (বেডিং প্লেন) বা দারণ-এর (Jointing) উপর। এই প্রসঙ্গে কোন অঞ্চলের ভূতাত্ত্বিক গঠনকে দুইভাবে ভাগ করা যায়। প্রথমতঃ যে সব বিস্তৃত এলাকায় পাথরের স্তরগুলি মোটামুটি অনুভূমিক (horizontal); এরকম অঞ্চলে বেশ ঘনঘন অর্থাৎ কাছাকাছি বিদার (fissure) থাকার সম্ভাবনা আছে। দ্বিতীয়তঃ অপর এলাকাগুলি পর্বতমালা সংগঠিত হতে পারে; যার পাথরের স্তরের মধ্যে অত্যন্ত তীব্র বা জটিলভাবে ভাঁজ (fold), বক্রতা (contortion) বা বিদার (fissure) এবং থ্রাস্ট্ প্লেন (thrust plane) থাকতে পারে। এই দুই রকম এলাকায় উদবেধী পাথরের (intrusive rocks) আকারের যথেষ্ট পার্থক্য দেখা যায়।

ম্যাগমা উদ্ভিন্ন (intruded) পাথরের স্তরের সঙ্গে সমান্তরাল-ভাবে চালিত হতে পারে; তখন এইভাবে বিন্যস্ত আগ্নেয় পাথরের অবয়ব বা বডি (body)-কে কনকরডাণ্ট (concordant) বলা হয়। অপর পক্ষে উদ্ভিন্ন পাথরের স্তর কেটে গিয়ে যখন ম্যাগমা উদবেধী পাথরের অবয়ব বা বডি সৃষ্টি করে তখন তাকে বলা হয় ট্রান্সগ্রেসিভ (trans-gressive) বা ডিসকরডাণ্ট (discordant) বডি। সুতরাং দেখা যায় যে কনকরডাণ্ট ও ডিসকরডাণ্ট—এই কথা দুটির ব্যবহার কেবল উদ্ভিন্ন পাথরের গাঠনিক সমতলের বিন্যাসের (structural plane) সঙ্গে উদবেধী পাথরের বিন্যাসের (attitude-এর) সম্পর্ক নির্দেশ করে।

সাধারণভাবে বলতে গেলে যে অঞ্চলে স্তরগুলি অনুভূমিক (horizontal) সেই এলাকায় কনকরডাণ্ট উদবেধী-পাথর উপরের স্তরগুলিকে ঠেলে ওঠে অর্থাৎ খাড়াভাবে উপরের (Vertical) দিকে চাপ দিয়ে থাকে। আর অপরক্ষেত্রে শিলাস্তরকে খাড়াভাবে কেটে দিয়ে অনুভূমিক (horizontal) দিকে চাপ দিয়ে সরিয়ে দেয়।

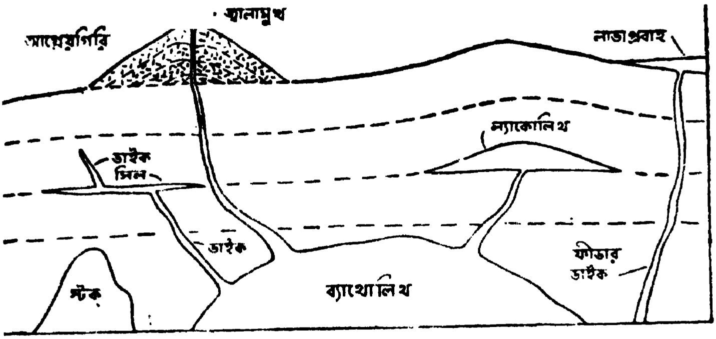
এই প্রসঙ্গে মনে রাখা দরকার যে কোনও কনকরডাণ্ট ইনট্রুশানের কিছু অংশ তার নির্দিষ্ট বিন্যাস ত্যাগ করে উদ্ভিন্ন পাথরের সমতলকে ডিসকরডাণ্ট ভাবে কেটে তার উপরের বা নীচের স্তরে পৌঁছে আবার কনকরডাণ্ট হতে পারে। কোনও ডিসকরডাণ্ট ইনট্রুশান উদ্ভিন্ন পাথরের স্তরের সঙ্গে সমান্তরালভাবে সামান্য অংশ থাকতে পারে।

নির্ভাজ অঞ্চলে আগ্নেয় পাথরের অবয়বের বিভিন্ন আকৃতি

সিল (Sill)

উদ্ভিন্ন পাথরের স্তরের সংগে সমান্তরালভাবে বিস্তৃত হয়ে ম্যাগমার পাতলা আস্তরন যে উদবেধী পাথরের অবয়ব বা বডি (body) তৈরী করে তাকে সিল (Sill) বলে। একটি সিল কতদূর পর্যন্ত ছড়িয়ে পড়বে তা কতটা হাইড্রোসটাটিক বলের সংগে ম্যাগমা স্থানীয় পাথরের মধ্যে প্রক্ষিপ্ত (injected) হয়েছে, তার তাপাঙ্ক ও ফ্লুইডিটি কেমন ছিল এবং যে পাথরের স্তরগুলি ম্যাগমা ঠেলে তুলবে তার ওজন কত এই সবের উপর নির্ভর করে। যেহেতু বেসিক ম্যাগমা (যেমন ডলেরাইট ম্যাগমা) এ্যাসিড ম্যাগমার থেকে বেশী ফ্লুইড, সেইহেতু বেশীর ভাগ সিল বেসিক পাথরের, যেমন ব্যাসল্ট্ বা ডলেরাইট।

সিলের মধ্যের পাথর দুপাশের পাথরের তুলনায় পরে তৈরী হয়েছে, এজন্য তার বয়স কম। সিল অনুভূমিক (horizontal)



চিত্র—12

ভূগর্ভে ব্যাথোলিথের (Batholith) অবস্থান ও তার সঙ্গে অন্যান্য আগ্নেয় অবয়বের সাধারণ সম্পর্ক।

খাড়া বা হেলান (inclined) হতে পারে। সিল সব সময় অনুভূমিক হবে একথা ঠিক নয়। তবে সব সময় পার্শ্ববর্তী পাথরের স্তরের ফোলিয়েশান বা বেডিং-এর সংগে সমান্তরাল ভাবে বিস্তৃত থাকবে।

ডাইক (Dyke)

কোন অঞ্চলে বিদার (fissure) খাড়াভাবে পাথরের স্তরায়নকে বা ক্লিভেজকে কেটে যেতে পারে; এই রকম বিদারের মধ্যে ম্যাগমা প্রবেশ করে যে পাথরের অবয়ব তৈরী হয় তাকে ডাইক বলে।

অনেক ডাইক পার্শ্ববর্তী পাথরের চেয়ে বেশী ক্ষয়রোধ করে তার ফলে ডাইকগুলি অনেক অঞ্চলে দেয়ালের মত দাঁড়িয়ে থাকে আর পার্শ্ববর্তী পাথর নীচু জমি তৈরী করে। কোন কোন ক্ষেত্রে অবশ্য এর বিপরীত হতে পারে, তখন ডাইক বেশী ক্ষয় হয়ে নীচু খাদ তৈরী করে এবং পার্শ্ববর্তী অঞ্চল উঁচু হয়ে থাকে। এক এক স্থানে আবার ডাইকের সংস্পর্শে এসে দুপাশের পাথর কিছুদূর অবধি গরমে শক্ত হয়ে যায় এবং ক্ষয়ের থেকে রক্ষা পেয়ে দেয়ালের মত উঁচু হয়ে থাকে।

ডাইকগুলি এক এক পর্যায় বা ঝাঁকে (swarm) থাকার প্রবণতা থাকে তখন তারা কোনও এক দিকে পরস্পর সমান্তরালভাবে থাকে।

ডাইক থেকে বোঝা যায় যে আগ্নেয় পাথরের ম্যাগমা প্রক্ষিপ্ত হবার সময় ব্যাপক এলাকা জুড়ে ভূত্বকের মধ্যে টান বা টেনশান (tension) বর্তমান ছিল। বড় বিদার সাধারণতঃ খালি থাকে না, এজন্য ডাইকের ম্যাগমাকে এই বিদার তৈরী করে তার মধ্যে প্রবেশ করতে হয়। বিরাট এলাকা জুড়ে টান পড়ার ফলে সামান্য বল প্রয়োগেই বিদার খুলে গিয়ে ডাইকের জন্য স্থান করে দেয় ও তার মধ্যে ম্যাগমা প্রবেশ করে এবং তার ফলে টানও প্রশমিত হয়।

আগ্নেয় উদবেধের প্রক্ষেপন যদি কেন্দ্রীভূত হয় তবে সেই কেন্দ্রের চারপাশে টান থাকার ফলে ডাইকের ঝাঁক ছটাকারে (radially) বিন্যস্ত হতে পারে।

ল্যাকোলিথ (Laccolith)

প্রত্যেক সিলই শেষ প্রান্তের দিকে ক্রমশঃ পাতলা হয়ে এসে শেষ হয়ে যায়। এজন্য তাদের আকার খুব চেপ্টা লেন্স (lens) এর মত। উদবেধী অবয়বের আকার যখন আরও বেশী কনভেক্স (convex) হয়, তখন প্লেনো-কনভেক্স (plano-convex) আকারের একটি উদবেধী অবয়বের সৃষ্টি হয়। এই রকম উদবেধী পাথরের অবয়বকে বলা হয় ল্যাকোলিথ (Laccolith)। কোন কোন ক্ষেত্রে ল্যাকোলিথের তলদেশ বা ফ্লোর (floor) নীচু হয়ে গিয়ে দুধারেই কনভেক্স (doubly convex) হতে পারে।

ল্যাকোলিথ এই রকম আকারের হওয়ার একটি কারণ আছে। ম্যাগমা যখন স্তরবিন্যস্ত পাথরের মধ্যে প্রক্ষিপ্ত হয়, তখন তার সান্দ্রতা বা ভিসকোসিটি (Viscosity) বেশী হলে স্তরের মধ্যে পাতলা হয়ে ছড়িয়ে পড়ে না ; ছড়িয়ে পড়ার পরিবর্তে ম্যাগমা তার উদবেধ পথের (অর্থাৎ orifice of intrusion) উপর কোনও স্তরকে গম্বুজের বা ডোম (dome) এর আকারে ঠেলে একটি উল্টান সরার

মত আকার গ্রহণ করে। এইরূপ অবয়বের উদবেধীকে ল্যাকোলিথ বলা হয়। আমেরিকার হেনরী মাউন্টেন অঞ্চলে C. M. Gilbert এই রকম উদবেধী অবয়বের প্রথম নাম দিয়েছেন।

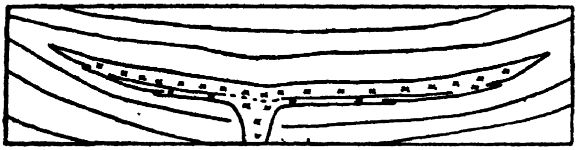
ম্যাগমা গোল ছিদ্রপথে প্রবেশ করলে ল্যাকোলিথের আকার মানচিত্রে বৃত্তাকার দেখায়। ম্যাগমার প্রবেশ পথ যদি একটি ফিসারের মত দীর্ঘ হয়, তার সৃষ্ট ল্যাকোলিথের আকারও ইলিপ্টিক্যাল (elliptical) হয়।

ল্যাকোলিথের ধার থেকে সিলের আকারে উদবেধী বার হয়ে পাথরের স্তরে প্রবেশ করতে পারে। ল্যাকোলিথ যে স্তরগুলিকে উঁচু করে তোলে, সেই স্তরগুলির উপর টান (tension) কার্যকরী হয়— তার ফলে সেই স্তরের মধ্যে ডাইকের আকারে ল্যাকোলিথের ম্যাগমা প্রবেশ করতে পারে। ল্যাকোলিথের ম্যাগমা বেশী সান্দ্র বা ভিস্কাস্ (Viscous) হলে এবং স্থানীয় পাথরের সংস্পর্শ বরাবর (কনটাক্ট-এর কাছে) শক্ত হয়ে গেলে চারধার বেশ খাড়া হতে পারে। এই অবস্থায় ম্যাগমা অধিক পরিমাণে ঢুকলে মাথার উপরের স্তরের মধ্যে ছিদ্র করে ঠেলে উঠতে পারে, যার জন্য আগ্নেয়বডির চারধারে বক্রাকার শিলাচ্যুতি দেখা যায়। এই রকম বডিকে বিস্মালিথ্ (Bysmalith) বলা হয়। Iddings এই নাম দিয়েছেন।

লোপোলিথ (Lopolith)

বেসিক পাথরের উদবেধী অবয়ব যখন সাধারণভাবে কনকরডান্ট হয়ে একটা লেনটিকুলার (lenticular) অথচ মাঝখানে সরার মত নীচু আকার সৃষ্টি করে তখন তাকে লোপোলিথ (Lopolith) বলে (গ্রীক শব্দ লোপাস-এর অর্থ একটা গামলা বা মাটির সরা)।

লোপোলিথের আদর্শ উদাহরণ আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রের মিনেসোটা



চিত্র—13

লোপোলিথ (Lopolith) (ক্রশ চিহ্নিত। প্রস্থচ্ছেদ)

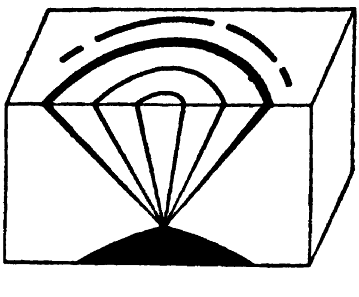
(Minnesota) রাজ্যের ডুলুথ গ্যাব্রো বডি (Duluth gabbro body)। এর ব্যাস 350 মাইল ও সর্বোচ্চ উচ্চতা (thickness) হল 50,000 ফুট।

এর ব্যাপ্তি 50,000 ঘন মাইল এবং আউটক্রপ (outcrop) 15,000 বর্গ-মাইল।

ল্যাকোলিথের তুলনায় লোপোলিথগুলি সবই প্রকাণ্ড। তাদের আকারও পৃথক এবং তলদেশ বেশ নীচু হয়ে থাকে। কানাডার অন্টেরিও প্রদেশের সাড্‌বেরি (Sudbury)-তে যে বিখ্যাত "নিকেল ইরাপটিভ" (Nickel eruptive) নামে পাথরের বেসিন আকারের অবয়ব আছে সেটিও একটি লোপোলিথ। আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রের মণ্টানা রাজ্যের স্টিলওয়াটার ইগ্‌নিয়াস কমপ্লেক্স (Stillwater igneous complex) একটি বৃহৎ লোপোলিথের দৃষ্টান্ত। দক্ষিণ আফ্রিকার বুশভেল্ড ইগ্‌নিয়াস কমপ্লেক্স (Bushveld igneous Complex) একটি অতি প্রকাণ্ড লোপোলিথ। এটি 300 মাইল লম্বা ও 150 মাইল চওড়া আর উচ্চতা (thickness) 24 হাজার ফুট। দক্ষিণ ভারতের সিতাম্‌পুণ্ডিতে একটি প্রি-ক্যাম্‌ব্রিয়ান যুগের আগ্নেয় পাথরের লোপোলিথ আছে ; এই পাথরগুলি পরে রূপান্তরিত শিলায় পরিণত হয়েছে এবং লোপোলিথের আকার ও কিছু বিকৃত বা deformed হয়েছে।

কোন সিট্‌স (Cone sheets)

যে ডাইকগুলি বৃত্তাকার বক্রতা যুক্ত এবং এককেন্দ্রীয় (Concentric) ও একটি কেন্দ্রের দিকে নতি (ডিপ্‌-dip) দেখায়



চিত্র—14

কোন সিট্‌স (Cone sheets) (নীচে ম্যাগমা চেম্বারের অনুমানিক অবস্থান)

তাদের কোনসিট্‌স (Cone sheets) বলে। তবে কোনসিট্‌স কেন্দ্রের চারদিকে সম্পূর্ণ বৃত্তাকারে থাকে না, সাধারণতঃ কয়েক ফুট চওড়া ও কয়েক মাইল পর্যন্ত লম্বা হতে পারে। স্কটল্যাণ্ডের বিখ্যাত কোনসিট্‌সগুলির ক্ষেত্রে ডাইকের নতি অনুসারে নীচের দিকে

অভিক্ষেপ (projection) কল্পনা করলে দেখা যায় যে তাদের কেন্দ্র তিন মাইল নীচে ভূগর্ভে অবস্থিত। এত নীচ থেকেই ম্যাগমা কোনসিট্স আকারে অনুপ্রবেশ করেছে।

এপোফাইসিস্ (Apophysis) **এবং টাঙ্ বা জিব** (Tongue) কোনও আগ্নেয়পাথরের অবয়ব থেকে বেরিয়ে যদি ছোট ডাইক স্থানীয় পাথরের মধ্যে অনুপ্রবেশ করে তাহলে তাকে এপোফাইসিস্ বা জিব বলে।

ভলকানিক ভেন্ট (Volcanic vent)

আগ্নেয়গিরি ক্ষয় হয়ে গেলে যে পথে তার মধ্যে তলদেশ থেকে ম্যাগমা প্রবেশ করেছিল সেটা দেখা যায়। ভলকানিক ভেন্ট প্লান (plan)-এ বৃত্তাকার, আংশিক বৃত্তাকার বা যে কোনও আকারের হতে পারে এবং কয়েক কুড়ি ফুট থেকে আরম্ভ করে মাইল খানেক পর্যন্ত ব্যাস বিশিষ্ট হতে পারে। কাছাকাছি পরপর অগ্ন্যুৎপাত হয়ে কখনও কখনও প্রকাণ্ড কম্পোসিট্ ভেন্ট (Composite Vent) তৈরী হয়।

স্থানীয় পাথরের সঙ্গে ভলকানিক ভেন্টের সংযোগ বা কনটাক্ট (Contact) বেশ খাড়া হয়, এটাই এর বৈশিষ্ট্য, এই কনটাক্ট সম্পূর্ণ খাড়া হতে পারে, ভিতর দিকে বেশ খাড়াভাবে ডিপ্ করতে পারে, কিংবা খুব কম ক্ষেত্রে বাইরের দিকেও ডিপ করতে পারে। ভলকানিক ভেন্টের মধ্যে টাফ্ ব্রেকসিয়া (tuff breccia) ভলকানিক লাভা (Volcanic lava) হিপএবিসাল (hypabyssal) বা প্লুটনিক (plutonic) সব রকমের পাথর পাওয়া যায়।

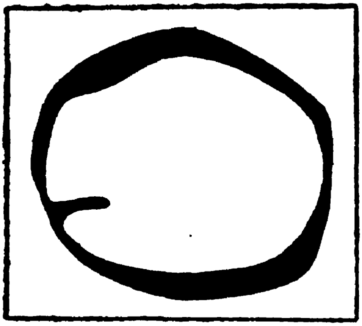
রিং ডাইক (Ring dyke)

রিং ডাইকগুলি প্লান-এ আংশিক বৃত্তাকার বা বৃত্তাকার। তবে সম্পূর্ণ বৃত্তাকার রিং ডাইক অত্যন্ত বিরল। স্থানীয় পাথরের সঙ্গে রিং ডাইকের সংযোগ বা কনটাক্ট খুব খাড়া হয়, এবং হয় একেবারে ভার্টিক্যাল অথবা বেশ খাড়া হয়ে থাকে। রিং ডাইকের ব্যাস গড়ে সাড়ে চার মাইল হয়—তবে 15 মাইল পর্যন্ত ব্যাস বিশিষ্ট হতে পারে।

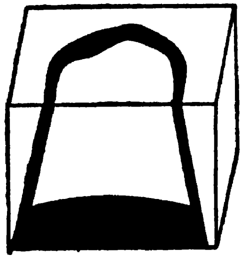
E. M. Anderson এর গবেষণা থেকে জানা যায় যে প্রথমে ম্যাগমা বডির চারপাশে রেডিয়েটিং টেনশান ফ্রাকচার (radiating tension fracture) হয় এবং তার মধ্যে কোন সিট্ অনুপ্রবেশ করে।

যে ক্ষেত্রে ম্যাগমার ঊর্ধ্বচাপ পাথরের নিম্নচাপের (lithostatic pressure) থেকে কম হয়, সেইক্ষেত্রে ম্যাগমার উপরে বেশী চাপ পড়ে এবং তার উপরকার পাথরে এন্যুলার (annular) বা নলাকার ফ্রাকচার

তৈরী হয়। এই ফ্রাকচারকে সীয়ার ফ্রাকচার (shear fracture) বলে মনে করা হয়। Anderson এর মতে এর মধ্যেই রিং ডাইক অনুপ্রবেশ করে।



চিত্র—15



চিত্র—16

চিত্র—15. রিং ডাইকের (Ring dyke) মানচিত্র। ব্যাস 6 মাইল।

চিত্র—16. রিং ডাইকের ত্রিমাত্রিক চিত্র। সামনের সমতলে প্রস্থচ্ছেদ দেখান হয়েছে। ম্যাগমা চেম্বারের অনুমানিক অবস্থান লক্ষ্যণীয়।

এইরূপ ফ্রাকচার বেশ বড় হয়ে গেলে তার মধ্যের পাথর ছাদের থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে পড়ে এবং চারপাশের থেকে আলগা হয়ে ম্যাগমার মধ্যে ডুবতে থাকে। এর সঙ্গে সঙ্গে ম্যাগমার ফ্রাকচার দিয়ে ঢুকে খালি জায়গা ভরে ফেলে। বহুকাল পরে ক্ষয়ীভবনের ফলে এই অংশ দৃষ্টিগোচরে আসতে পারে তখন বৃত্তাকার বা ইলিপ্টিক্যাল (elliptical) একটি ইনট্রুশান (intrusion) দেখা যাবে, যার পাশগুলি খাড়াভাবে স্থানীয় পাথরের স্তর কেটে গেছে। যদি অন্তঃস্থ পাথর বারে বারে এই রকম ফ্রাকচার হওয়ার ফলে বিচ্ছিন্ন হয়ে ডুবতে থাকে তাহলে কয়েকটি এককেন্দ্রীয় (concentrc) রিং ডাইক দেখা যায়। বিকল্পে আরও একটি কারণে রিং ডাইক তৈরী হতে পারে। ম্যাগমা উপরদিকে উঠবার চেষ্টায় ছাদকে ঠেলে উপরদিকে চাপ দেয়। তার ফলে জমে থাকা ম্যাগমার (reservoir) ঠিক উপর খাড়া fracture হয়। একবার ম্যাগমার উপরের পাথরে ফ্রাকচার তৈরী হলে, এই ভাবে বিচ্ছিন্ন পাথরের খণ্ড ম্যাগমার মধ্যে আস্তে আস্তে ডুবে যেতে থাকে, কারণ এটি ম্যাগমা থেকে বেশী ভারী। এই ফ্রাকচারের মধ্যে ম্যাগমা ঢুকে স্থানীয় পাথরের টুকরাগুলি স্থানচ্যুত করে তার জায়গা অধিকার করে; এইভাবে ম্যাগমার নিজের জন্য জায়গা তৈরী করে নেওয়াকে স্টোপিং (বা Piecemeal Stoping) বলা হয়।

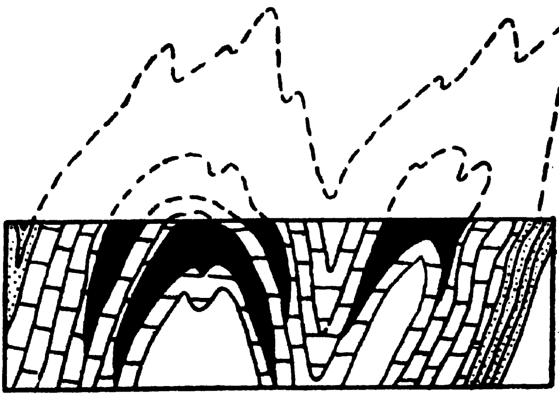
স্থানীয় পাথর ম্যাগমার মধ্যে ডুবে গিয়ে রিং ডাইক তৈরীতে সাহায্য করে, তাই এই উপায় রিং ডাইকের অনুপ্রবেশকে কলড্রন সাব্‌সিডেন্স (cauldron subsidence) বলা হয়। অনেক সময় কলড্রন সাব্‌-সিডেন্সের সঙ্গে ফ্রাকচার দিয়ে উঠে ম্যাগমা ভূপৃষ্ঠে অগ্ন্যুৎপাত করে আগ্নেয়গিরি সৃষ্টি করতে পারে।

ভাঁজ-বিশিষ্ট অঞ্চলে আগ্নেয় পাথরের অবয়বের বিশেষত্ব

ভাঁজ হওয়া এলাকার স্থানীয় পাথরের গঠন জটিল এবং আঁকা-বাঁকা হওয়ার ফলে এই রকম অঞ্চলে অনুপ্রবেশকারী আগ্নেয় পাথরের অবয়বও বেশ বৈচিত্র্যপূর্ণ হয়।

ফ্যাকোলিথ (Phacolith)

এটি একটি কনকরডান্ট উদবেধী (Concordant intrusive) এবং কেবলমাত্র স্থানীয় পাথরের এণ্টিক্লাইনের (anticline) বা এণ্টি-ফর্‌মের (antiform) এর শীর্ষে ও সিনক্লাইন (syncline) বা সিন-ফর্‌মের (synform) নিম্ন অঞ্চলে ফ্যাকোলিথ দেখা যায়। প্রস্থ চেছদ ও প্লান—এই দুই ভাবেই ফ্যাকোলিথ দেখতে চন্দ্রকলার মত।



চিত্র—17

ফ্যাকোলিথ (Phacolith)-এর আকারের বৈশিষ্ট্য। প্রস্থচ্ছেদ।
(A. F. Buddington, 1925 অনুসারে)

প্লানে এই রকম দেখা যাওয়ার কারণ হল এই যে অনেক ফ্যাকোলিথ প্লাঞ্জিং (Plunging) ভাঁজের সঙ্গে দেখা যায়। দুই প্রান্তেই প্লাঞ্জিং এরকম কোন ভাঁজের সঙ্গে দেখা গেলে তখন ফ্যাকোলিথকে প্লান-এ ইলিপ্টিক্যাল (elliptical) বা ডিম্বাকৃতি দেখায়। সাধারণতঃ ভাঁজের

অক্ষদেশে (Limbs of folds) পাথরের স্তর অত্যধিক চাপে থাকার জন্য আগ্নেয় পাথরের ম্যাগমা সেখানে থাকতে পারে না, তাই তার আকার হয় ডব্‌লি-কনভেক্স (doubly convex) বা লেনস্‌ এর মত।

ফ্যাকোলিথ কয়েক শত বা হাজার ফিট মোটা হতে পারে। অনেক ভূতাত্ত্বিকের মতে ভাঁজ তৈরী হওয়ার সময় ভাঁজের শীর্ষে নিম্নচাপের সৃষ্টি হয় তার ফলে ম্যাগমা আপনা থেকেই অনুপ্রবেশ্র কোরে স্থান-পূরণ করে; তবে ম্যাগমা যে কিছু চাপে অনুপ্রবেশিত হয়েছিল ধরা যেতে পারে, এই প্রসঙ্গে জানা দরকার যে ল্যাকোলিথের আগ্নেয় পাথর চাপ দিয়ে তার সংশ্লিষ্ট ভাঁজ সৃষ্টি করে, আর ফ্যাকোলিথ কোনও অঞ্চলে স্তরের ভাঁজ নিজে সৃষ্টি করে না।

গিরিজনি বা অরোজেনিক (orogenic) অঞ্চলে মোটামুটি কনকরডান্ট এবং বিশাল আগ্নেয় পাথরের অবয়ব বিশেষভাবে সংশ্লিষ্ট থাকে, এই সকল অবয়বগুলির আকৃতি ও বিশালতা বা ক্ষুদ্রতার উপর নির্ভর কোরে নানা রকম নাম না দিয়ে এদের প্লুটন (pluton) বলাই ভাল।

ব্যাথোলিথ (batholith, bathylith)

উদবেধী পাথরের অতি বিশাল অবয়ব (Intrusive body)-কে ব্যাথোলিথ (batholith; bathos=depth, lithos=stone) বলা হয়। এই বিশালতার জন্য শুধু ব্যাথোলিথের উপরিভাগেই ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান করা সম্ভব; এজন্য এদের তলদেশ কেমন তা আন্দাজেই শুধু জানা সম্ভব।

ব্যাথোলিথ আগ্নেয় পাথরের যা রূপান্তরিত পাথরের তৈরী হতে পারে অথবা আংশিক আগ্নেয় পাথর ও আংশিক রূপান্তরিত পাথরে গঠিত হতে পারে।

ব্যাথোলিথ স্থানীয় পাথরের স্তরের সমান্তরালভাবে থেকে কনকরডান্ট (concordant) হতে পারে। অথবা ঐ স্তরকে কেটে গিয়ে ডিসকরডান্ট (discordant) হতে পারে। বিহার ও উড়িষ্যার সিংভূম গ্রানাইট ব্যাথোলিথ স্থানে স্থানে ডিসকরডান্টভাবে স্থানীয় পাথরের মধ্যে অনুপ্রবেশ করেছে।

বিশাল ব্যাথোলিথগুলি পর্বতমালার টেক্‌টনিক এক্সিস (Tectonic axis)-এর সঙ্গে সমান্তরালভাবে থাকে। যেমন দেখা যায় পুরুলিয়া জেলার বেঙ্গল নাইস বা ছোটনাগপুরের ছোটনাগপুর গ্রানাইট নাইস ব্যাথোলিথের ক্ষেত্রে।

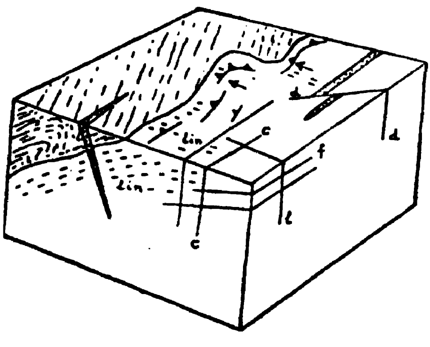
উদবেধী পাথরের অবয়ব 40 বর্গমাইলের থেকে ছোট হলে তাকে তাকে বলা হয় স্টক্ (Stock)।

গ্রানাইট্-টেক্টনিক্
বা উদবেধী পাথরের টেক্টনিকস্

আগ্নেয় উদবেধী পাথরের স্ট্রাকচার বা গঠন এবং ঐ পাথর যে অঞ্চলে অনুপ্রবেশ করেছে সেই অঞ্চলের স্থানীয় পাথরের গঠন থেকে জানা যায় কিভাবে ঐ পাথরের অবয়ব অনুপ্রবেশ করেছিল এবং ম্যাগমা কি অবস্থায় কঠিনতা লাভ করে ও ঠাণ্ডা হয়। এই ধরণের গবেষণা প্রথম প্রবর্তন করেন হান্স্ ক্লুস (Hans Cloos) এবং এর নাম তিনি দেন গ্রানাইট্ টেক্টনিক্ (Granit tektonik) বা উদবেধী পাথরের টেকটনিক্স্। এইভাবে শুধু গ্রানাইট পাথর নয়, অন্য অনেক উদবেধী পাথরের ভূতাত্ত্বিক ইতিহাস সুষ্ঠুভাবে জানা সম্ভব।

প্রবাহ-জনিত গঠন
(Structure due to flow)

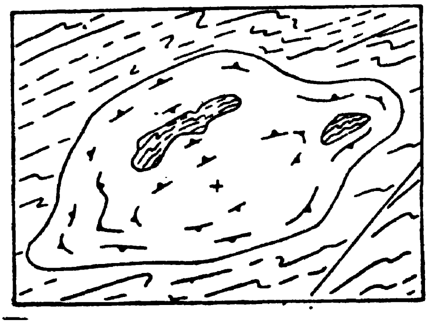
আগ্নেয় পাথরে সবচেয়ে প্রথমে যে গড়ন তা আগ্নেয় পাথরের অবয়ব সম্পূর্ণ কঠিন হবার আগেই সৃষ্টি হয়। এই সময় ম্যাগমা থেকে কেলাসন হতে থাকে এবং আগ্নেয় পাথরের অবয়বটি স্থানীয় পাথরের স্তরের মধ্যে নিজের জন্য জায়গা তৈরী করতে থাকে। সূচের মত



চিত্র—18
গ্রানাইট টেকটনিকস্। ফোলিয়েশান—ডিপ্ ও স্ট্রাইক দ্বারা চিহ্নিত, lin—লিনিয়েশান, l—লনজিটুডিন্যাল জয়েন্ট, c—ক্রশ জয়েন্ট, d—ডায়াগোনাল জয়েন্ট f—ফ্লাট্ লায়িং জয়েন্ট।

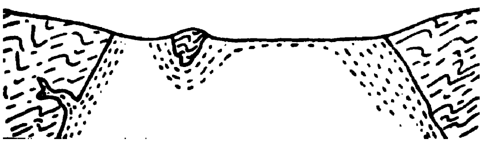
সরু লম্বা কেলাস বা ইনক্লুশান (inclusion) এই সময় সমান্তরালভাবে সজ্জিত হয়। এই ওরিয়েন্টেশান (orientation) চোখে দেখলে

পূর্বতন ম্যাগমার গতিশীল বা প্রবাহিত হবার সময়কার প্রবাহ-রেখা (flow line) দেখা যায়। এথেকে ম্যাগমা কিভাবে গতিশীল ছিল তা বেশ বোঝা যায়, সেইরকম ভাবে ম্যাগমার মধ্যের পাতলা (platy) খনিজ কেলাস যেমন মাইকা বা ফেলসপার ইত্যাদি বা জেনোলিথ্ ম্যাগমার গতিশীলতার সংগে খাপ খেয়ে সমান্তরাল অবস্থায় থাকে এবং ঐভাবে জমাট বেঁধে কঠিন হয়ে পড়ে। এদের বলা হয় ফ্লো-লেয়ার বা প্লেটী-ফ্লো স্ট্রাকচার ' (flow layers or platy flow structure)। অনেক সময় আগ্নেয় ম্যাগমার মধ্যে গভীর রং-এর খনিজগুলি এক এক স্তরে এবং হালকা রং-এর খনিজগুলি তার



চিত্র—19

একটি প্লুটনের ফ্লো স্ট্রাকচারের বিন্যাস (ডিপ ও স্ট্রাইক দ্বারা চিহ্নিত)—প্ল্যান



চিত্র—20

ঐ প্লুটনের উঃপঃ—দঃপূঃ প্রস্থচ্ছেদ (R. Balk, 1938 অনুসারে)।

সমান্তরাল অন্য স্তরে বিন্যস্ত হয়ে শ্লীরেন (schlieren) তৈরী করে। এইসব দিয়েই আগ্নেয় পাথরের ফোলিয়েশান (foliation) নির্দেশিত হয়। ফ্লো-লাইন ফ্লো-লেয়ারের উপর থাকে, তবে তার নতির (dip) সংগে যে কোনও কোনে থাকতে পারে। অনেক সময় আবার ফ্লো-লাইন ও ফ্লো-লেয়ার এর মধ্যে যে কোনও একটি অনুপস্থিত থাকতে পারে।

এই গঠনগুলি উদবেধী পাথরের অবয়বের ছাদ বা দেওয়ালের সঙ্গে মোটামুটি সমান্তরালভাবে থাকে। এগুলি ম্যাগমার উপরদিকে ও বাহিরের দিকে গতির সঙ্গে সমকোণ (right angle)-এ থাকে বলে মনে করা হয় আর ফ্লো-লাইন ম্যাগমার যেদিকে প্রসার হয়েছে সেই দিকেই লম্বা হয়ে থাকে। (চিত্র—18, 19, 20)

ম্যাগমা তলদেশ থেকে পাথরের খণ্ডকে নিয়ে উপর দিকে উঠতে পারে। স্থানীয় পাথর ভেঙ্গে ম্যাগমার মধ্যে পড়ে গেলে ম্যাগমা সেই স্থান অধিকার করে। তাকে বলা হয় স্টোপিং (stoping) এবং যে ভাঙ্গা খণ্ডগুলিকে ম্যাগমা বহন করতে থাকে তাদের বলা হয় জেনোলিথ (xenolith)। ম্যাগমার সঙ্গে বিক্রিয়ায় (reaction) জেনোলিথ অনেক সময় কম-বেশী হজম হয়ে গিয়ে উদবেধী পাথরের মধ্যে ছোপ চিহ্নিত হয়ে থাকে।

বিভঙ্গ-জনিত গঠন

(Structures due to fracture)

উদবেধী ম্যাগমা তলার থেকে যে চাপে স্থানীয় পাথরের মধ্যে নিজের স্থান অধিকার করে, ম্যাগমা প্রায় সবটা কেলাসিত হওয়ার পরও সেই চাপ কার্যকরী থাকতে পারে। এইভাবে এই অবশিষ্ট চাপ সদ্য কঠিন হওয়া উদবেধী পাথর ও তার পারিপার্শ্বিক পাথরের উপর নতুন গঠন (new structures) তৈরী করে।

এই নতুন গঠনের মধ্যে আছে পরিবর্ধিত লিনিয়ার বা প্লেনার গঠন (linear and planar structures), পাথর গুঁড়া হয়ে যাওয়া অঞ্চল (zones of crushing) এবং চ্যুতি বা ফল্ট (fault)। উদবেধী পাথরের অবয়ব ঠাণ্ডা হয়ে ক্রমে যখন শক্ত (rigid) হতে থাকে তখন এক সময় দারণ বা জয়েণ্ট (joint) এর সৃষ্টি হয়। এই দারণ উদবেধী পাথরের আকারের সঙ্গে কোনও বিশেষভাবে বিন্যস্ত থাকে।

ক্রশ জয়েণ্ট (Cross joints) **বা কিউ জয়েণ্ট** (Q-joints) : এই দারণগুলি বেশ খাড়াভাবে বিন্যস্ত থাকে এবং ফ্লো-লাইনের সঙ্গে সমকোণে (right angles) থাকে। যে প্রসারের ফলে আগে ফ্লো-লাইন তৈরী হয়েছে সেই প্রসারই কিউ-জয়েণ্টে তৈরী হওয়ার কারণ, এই জয়েণ্টগুলি টানের (tension) জন্য সৃষ্টি হয়। উদবেধী পাথরের অবয়ব যদি গোলাকার হয় তাহলে কিউ জয়েণ্ট অনেক ক্ষেত্রে ছটাকারে, রেডিয়ালি (radially) বিন্যস্ত থাকে।

লনজিচুডিন্যাল (longitudinal) **বা এস্-জয়েণ্ট** (S-joints) **:** এইগুলি খাড়াভাবে থাকে এবং এরা ফ্লো-লাইনের সঙ্গে সমান্তরাল থাকে। কিউ ও এস্-জয়েণ্টগুলি ম্যাগমা সম্পূর্ণ কঠিন হওয়ার আগে তৈরী হয়, তাই অনেক সময় ভিতরের তরল ম্যাগমা এই জয়েণ্টের মধ্যে পাতলা আগ্নেয় পাথরের অনুপ্রবেশ সৃষ্টি করে; যেমন এপ্লাইট ও পেগমাটাইট্ অনেক সময় এই জয়েণ্টের মধ্যে থাকে।

ফ্লাট-লাইং জয়েণ্ট (Flat lying joints) :

বড় উদবেধী পাথরের অবয়বের স্থান অধিকারের সময় যে ফ্লাট-লাইং জয়েণ্ট সৃষ্টি হয় তাদের বলা হয় প্রাইমারী ফ্লাট-লাইং জয়েণ্ট, তাছাড়া পরেও ক্ষয়ী-ভবন ও পার্শ্বচাপের (হোরাইজণ্টাল কমপ্রেসন) এর জন্য ফ্লাট লাইং জয়েণ্ট সৃষ্টি হতে পারে।

রিফ্ট (Rift), **গ্রেণ** (grain) **এবং হার্ডওয়ে** (hardway) **:**

পাথর যেদিকে খুব সহজেই ভেঙ্গে ভাগ হয়ে যায় তাকে বলে রিফ্ট্ (rift)। রিফ্টের সঙ্গে সাধারণতঃ সমকোণে (right angle) যেদিকে পাথর কাটে সেইদিককে বলে গ্রেণ (grain)। পাথরের একটি ব্লক ভাঙ্গতে গেলে তৃতীয় একটি দিক ভাঙ্গার প্রয়োজন হয়, কিন্তু এইদিক ভালভাবে ভাঙ্গে না এবং সেজন্য তাকে বলা হয় "কঠিন দিক" (hardway)। পাথরের মধ্যে (rift) যে দিকে থাকে সেই দিকে পাথরে খুব সূক্ষ্ম ফাটল থাকে এইজন্য এইদিক এত সহজে ভাঙ্গে।

হানস ক্লুজ (Hans Cloos) এর মতে গ্রানাইটের রিফ্ট্ সাধারণতঃ এস্-জয়েণ্টের দিকের সঙ্গে একই দিকে থাকে। তার গ্রেণ ফোলি-য়েশান প্লেনের সঙ্গে সমান্তরালভাবে থাকে।

চ্যুতি বা ফল্ট (fault)

বড় উদবেধী পাথরের অবয়বের ধারে ধারে থ্রাস্ট্ ফল্ট ও সাধারণ বা নরমাল ফল্ট দেখা যায়। এর মধ্যে থ্রাস্টগুলিকে বলা হয় মারজিন্যাল থ্রাস্ট্ এবং এরা উদবেধী পাথর ও তার গায়ে স্থানীয় পাথরকে কেটে তৈরী হয় এবং তাদের নতি (dip) উদবেধী পাথরের অবয়বের কেন্দ্রের দিকে হয়; এরা মই-এর ধাপগুলির মত পর পর বিন্যস্ত (en-echelon) থাকে। এদের থেকে বোঝা যায় যে আগ্নেয় পাথরের অবয়ব বাহিরের দিকে চাপ দিয়ে উঠেছিল।

মাল্টিপ্‌ল ইনট্রুশান (Multiple intrusion) **:**

একই পথ বা channel দিয়ে যখন ম্যাগমা একের পর এক, দুই বা ততোধিক দমকে অনুপ্রবেশ করে উদবেধী আগ্নেয় পাথরের অবয়ব

সৃষ্টি করে, তাকে মাল্টিপল ইনট্রুশান (Multiple intrusion) বলা হয়। এইক্ষেত্রে এক একটি উদবেধী আগে ঠান্ডা হয়ে যাওয়া উদবেধী পাথরের সঙ্গে খুব পরিষ্কারভাবে সংস্পর্শ বা কনটাক্ট দেখায়।

কম্পোসিট ইনট্রুশান (Composite intrusion) :

বিভিন্ন ম্যাগমা একই পথ বা চ্যানেল দিয়ে অনুপ্রবেশ করলে একটি কম্পোসিট ইনট্রুশান তৈরী হতে পারে। এক্ষেত্রে ম্যাগমাগুলি বিভিন্ন। তবে এক একটি উদবেধী আগে অনুপ্রবেশিত পাথরের সঙ্গে পরিষ্কার কনটাক্ট দেখাতে পারে বা ঐরূপ কনটাক্ট না থাকতেও পারে।

গঠন ও গ্রথন (Structure and texture)

গঠন (structure) বলতে পাথরের বড় আকারের গাঠনিক বৈচিত্র্য (feature) ধরা হয়। যেমন ফ্লো-ব্যান্ডিং, দারণ (জয়েন্ট), লাভার ব্লক বা দড়ির (ropy) আকার ইত্যাদি। আরও ছোট আকারের গঠন যার মধ্যে আছে একাধিক গ্রথণের ফলে উৎপন্ন গঠন, তাকেও গঠনের মধ্যে ধরা হয়। পাথরের মধ্যে সকল খনিজ এবং কাঁচ ঠিক কিরকম ভাবে বিন্যস্ত আছে তার নির্দেশ পাওয়া যায় গ্রথন (texture)-এর মধ্যে।

ভেসিকুলার (vesicular) **ও এমিগডালয়ডাল** (amygdaloidal) **স্ট্রাকচার :**

সব লাভার মধ্যে দ্রবীভূত বায়বীয় পদার্থ ও বাষ্প থাকে। লাভা ভূপৃষ্ঠের উপরে এসে গেলে তার মধ্যে থেকে এইসব নির্গত হয় এবং তার ফলে বুদবুদের আকারে যে ছিদ্র, লাভা কঠিনতা লাভ করলেও থেকে যায়, তাকে বলে ভেসিকল (vesicle), ভেসিকল অন্য খনিজ যেমন জিওলাইট (zeolite), ক্যালসিডনি (chalcedony), কোয়ার্টজ (quartz) ইত্যাদি, দিয়ে ভরাট হয়ে গেলে তাকে বাদামের মত দেখায় এবং বলা হয় amygdule। আর এই গঠনকে বলা হয় এমিগডাল-য়ডাল গঠন (amygdaloidal structure)। এই বায়ুজনিত গর্তগুলি খুব ঘন ঘন থাকলে সেই পাথরকে বলা হয় স্কোরিয়া (scoria)। পাথরের আকার একেবারে ফেনার মত দেখালে তাকে বলা হয় পামিস (Pumice)।

ব্লক লাভা (Block lava) **ও রোপী লাভা** (Ropy lava) **:**

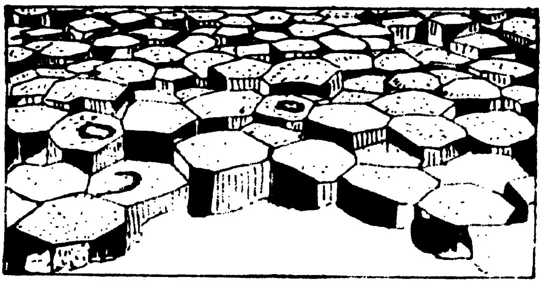
উত্তপ্ত লাভা প্রবাহিত হওয়ার সময় যে সব ক্ষেত্রে ঠান্ডা হয়ে যাওয়া উপর ভাগ ভেঙ্গে টুকরা টুকরা বা ব্লকের (Block) আকার

নেয়, তার সঙ্গে থাকে খোঁচাখোঁচা হয়ে থাকা কঠিন টুকরা বা গুঁড়া। লাভাপ্রবাহের সময় ছোট বড় এই টুকরাগুলি ধ্বসে লাভার সামনে পড়ে। এই রকম লাভাকে বলা হয় ব্লক লাভা (block lava)।

যে ব্যাসল্ট্ লাভা সাধারণতঃ বেশী দেখা যায় তার প্রকৃতি অন্য-রকম। এই লাভা বেশ তরলভাবে প্রবাহিত হয় এবং এর উপরভাগ ঢেউ-এর মত মসৃণ ও ঢেউখেলানভাবে উঁচু নীচু থাকে। অনেক সময় এর উপর দড়ির মত পাকান গঠন (ropy structure) দেখা যায়। এই লাভাকে বলা হয় রোপী লাভা (ropy lava)। ব্লক লাভার মধ্যে ভেসিক্‌লগুলি খুব অনিয়মিত (irregular) যে কোনও আকারের হয় কিন্তু এই মসৃণ ঢেউখেলান লাভা, যাকে বলা হয় পাহয়ে-হয়ে লাভা (pahoehoe lava) তার ভেসিক্‌লগুলি সুন্দর গোলাকার হয়। হাওয়াই দ্বীপের আগ্নেয়গিরি থেকে জানা গেছে যে পাহয়ে-হয়ে লাভার মধ্যে দ্রবীভূত বাষ্প ও বায়বীয় পদার্থ ব্লক লাভার তুলনায় অনেক বেশী থাকে এবং সেইজন্য এরা মসৃণভাবে ঢেউএর মত প্রবাহিত হয়।

কলাম্‌নার জয়েণ্ট (Columnar joint) ঃ

লাভা প্রবাহ, বিশেষতঃ ব্যাসল্ট লাভার একটি বৈশিষ্ট্য কলাম্‌নার জয়েণ্ট। লাভা ঠাণ্ডা হওয়ার সময় খাড়াভাবে বিন্যস্ত এই রকম ফাটল



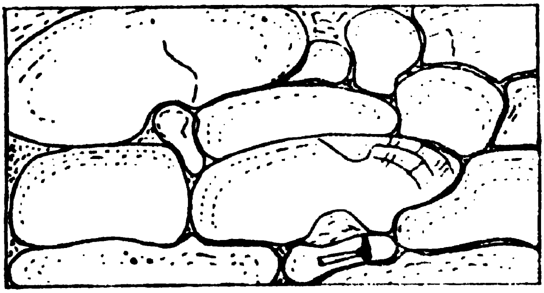
চিত্র—21

ব্যাসল্ট পাথরে কলাম্‌নার জয়েণ্ট (Columnar joint)। Giant's Causeway, এন্‌ট্রিম কাউন্টি, আয়ারল্যাণ্ড। (A. Holmes, 1944 অনুসারে)।

বা জয়েণ্টের সৃষ্টি হয় ও লাভা প্রবাহ ঘন সন্নিবিষ্ট অসংখ্য থামের (Columnar) আকার ধারন করে; এই থামগুলি 5-7 কোনযুক্ত হয় (চিত্র—21)। ভারতবর্ষের ডেকান ট্রাপ ব্যাসল্টে কলাম্‌নার জয়েণ্ট বহু ক্ষেত্রে দেখা যায়।

পিলো স্ট্রাকচার বা বালিসের মত গঠন (pillow structure)

কোনও কোনও বেসিক লাভা, বিশেষ করে সোডা বেশী আছে এই রকম উপাদানযুক্ত ব্যাসল্টিক পাথরকে বলা হয় স্পিলাইট (spilite)। এতে পিলো স্ট্রাকচার (pillow structure) দেখা যায়। এই রকম লাভা দেখতে ঠিক স্তূপাকার বালিস, তাকিয়া, ভর্তি থলে বা কুশানের (cushion) মত। এই লাভার উপরিভাগ ভেসিকুলার ও কাঁচের মত (glassy) হতে পারে। এই পিলোগুলির ভিতরে ভেসিকল্‌গুলি সমকেন্দ্রিকভাবে থাকে : এইগুলি এক একটি স্তরে থাকে এবং স্তরগুলি পিলোর আকারের সঙ্গে সমান্তরালভাবে থাকে। পিলোগুলি বেশ নরম অবস্থায় একের পর এক এসে পড়েছিল এজন্য উপরে পড়া পিলোগুলির তলার দিক নীচের পিলোগুলির উপরদিকের ফাঁকে ফাঁকে ঢুকে থাকে। অনেক সময় পিলোর ফাঁকে থাকে ব্রেকসিয়া (breccia) পাথর, রেডিওলেরিয়ান চার্ট (radiolarian chert, রেডিলেরিয়া এক প্রকার ছোট সিলিসিয়াস জীব) ইত্যাদি মিশ্রিত (impure) সিলিসিয়াস লাইমস্টোন (চুনাপাথর)। এই সব থেকে বোঝা যায় যে পিলোলাভা তৈরীর সময় গলিত লাভা সমুদ্রের জলের মধ্যে এসে পড়ে। তবে



চিত্র—22

পিলো লাভা (Pillow lava)। বোম্বাই শহর। (লেখক গৃহীত আলোক চিত্র অনুসারে)।

বরফের স্তরের নীচে বা ডোবার (marshy areas) নরম পলির স্তরের মধ্যে অনুপ্রবেশ করলেও এই রকম পিলোলাভা তৈরী হতে পারে। ভারতবর্ষে পিলোলাভা প্রিক্যাম্ব্রিয়ান যুগের পাথরের মধ্যে পাওয়া গেছে মহীশূরে (কর্ণাটক রাজ্যে)। এছাড়া ডেকানট্রাপ ব্যাসল্টের মধ্যে পাওয়া গেছে বোম্বাই শহরে (চিত্র—22)

চতুর্থ অধ্যায়

আগ্নেয় পাথরের শ্রেণীবিভাগ ও উপাদান

খনিজ উপাদান পাথরের একটি গুরুত্বপূর্ণ বিশেষত্ব। এর উপর নির্ভর করে পাথরের শ্রেণীবিভাগ করা যায়। খনিজগুলি বেশীর ভাগ পাথরে সহজে চেনা যায় এবং শ্রেণীবিভাগ বেশ সহজ হয়। আগ্নেয় পাথরের খনিজগুলিকে মুখ্য (essential), আনুষঙ্গিক (accessory) এবং গৌণ (secondary) খনিজ হিসাবে ভাগ করা যায়। প্রথম দুইটি ম্যাগমাটিক কেলাসনের ফলে উদ্ভূত। এজন্য এদের অরিজিনাল বা প্রাথমিক খনিজ বলা হয়। সেকেন্ডারী মিনারালগুলি আবহ-বিকার, রূপান্তর বা পাথরের মধ্যে তরল জলীয় দ্রবণের চলাচলের ফলে তৈরী হয়। মুখ্য খনিজগুলি পাথরের নাম ঠিক করার জন্য অতি প্রয়োজনীয় এবং এরা কম থাকলে বা একেবারে না থাকলে পাথর কোনও এক শ্রেণীর বদলে অন্য শ্রেণীতে গণ্য হবে। যে সব খনিজ খুব কম পরিমাণে থাকে এবং পাথরের নামকরণের সময় যাদের উপস্থিতি বা অনুপস্থিতি গণ্য করা হয় না সেই সব খনিজকে বলা হয় এক্‌সেসারী মিনারাল।

এছাড়া ফেলসিক ও ম্যাফিক এই দুই ভাগে খনিজগুলিকে ভাগ করা যায়। Felsic কথা felspars, felspathoids ও silica থেকে এবং mafic কথা ferro-magnesian থেকে প্রথম অক্ষরগুলি নিয়ে তৈরী। Felsic খনিজের মধ্যে আছে হালকা রঙের এবং কম আপেক্ষিক গুরুত্বযুক্ত খনিজ, যেমন কোয়ার্টজ, ফেলসপার, ফেলসপাথয়েড্ (ও এনালসাইট)-এগুলি কিছু নিম্ন তাপাঙ্কে কেলাসিত হয়। ম্যাফিক খনিজগুলি গাঢ় রঙের, ভারী এবং ফেলসিক খনিজের তুলনায় সাধারণতঃ আগে অর্থাৎ উচ্চ তাপাঙ্কে কেলাসিত হয়। এগুলির মধ্যে আছে মাইকা, পাইরক্সিন, এম্ফিবোল, অলিভিন, লোহার অক্সাইড খনিজ ও এপেটাইট্।

(1) রং-সূচীর উপর নির্ভর করে শ্রেণীবিভাগ :

সব ফেলসিক খনিজকে হালকা রঙের এবং সব ম্যাফিক খনিজকে গাঢ় রঙের ধরে নিয়ে প্রত্যেক পাথরের একটি রং-সূচী (colour-index) স্থির করা যায়। এই রং-সূচীর থেকে পাথরের মধ্যে হালকা ও গাঢ় রঙের খনিজ শতকরা কতভাগ আছে তা বোঝা যায়। শতকরা 0 থেকে 30 ভাগ ম্যাফিক অর্থাৎ 100 থেকে 70 ভাগ ফেলসিক খনিজ থাকলে

পাথরকে লিউকোক্রাটিক (leucocratic) বলে। 30—60 ভাগ ম্যাফিক থাকলে মেসোক্রাটিক (mesocratic) বলে এবং 60—100 ভাগ ম্যাফিক খনিজ থাকলে মেলানোক্রাটিক (melanocratic) বলে। যদিও সাধারণতঃ ফেলসিক খনিজগুলি হালকা রঙের এবং ম্যাফিকগুলি গাঢ় বা কাল রঙের তাহলেও একটি আলট্রাম্যাফিক (ultramafic) পাথর, যেমন ডানাইট (dunite) এর অলিভিনগুলি খুব হালকা সবুজ দেখাতে পারে। কিন্তু তাসত্ত্বেও এই পাথরগুলি মেলানোক্রাটিক হবে। সেইভাবে গ্রানাইটিক পাথর যেমন চার্নকাইট (charnockite), রায়োলাইট বা অন্য পাথর ফেলসিক খনিজ সমৃদ্ধ হওয়া সত্ত্বেও কাল বা গাঢ় রঙের হতে পারে এবং তখনও কিন্তু তারা লিউকোক্রাটিক হবে।

খনিজ ও গঠন অনুসারে আগ্নেয় পাথরের একটি বিশদ শ্রেণীবিভাগ ষষ্ঠ অধ্যায় দেওয়া হয়েছে।

(2) রাসায়নিক উপাদানের উপর ভিত্তি করে আগ্নেয় পাথরের শ্রেণীবিভাগ

কতগুলি গুরুত্বপূর্ণ রাসায়নিক উপাদানের উপর ভিত্তি করে আগ্নেয় পাথরের শ্রেণীবিভাগ করা হয়েছে। এই শ্রেণী বিভাগগুলি থেকে পাথরের উৎপত্তি সম্বন্ধে প্রয়োজনীয় তথ্য জানা সম্ভব।

পাথরের রাসায়নিক বিশ্লেষণ কতগুলি অক্সাইডের শতকরা অনুপাত হিসাবে দেখান হয়। এই অক্সাইডগুলির মধ্যে সিলিকা সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ। পাথরের মধ্যে সিলিকা শতকরা 35 থেকে 80 ভাগের মধ্যে থাকে। সিলিকার এই রকম বিস্তার থাকায় একে আগ্নেয় পাথরের শ্রেণীবিভাগের জন্য ব্যবহার করা হয়।

Acid rocks সিলিকা শতকরা 52—66 এর বেশী।
Mafic or basic rocks সিলিকা শতকরা 45—52 এর মধ্যে।
Intermediate rock সিলিকা শতকরা 52—66 এর মধ্যে।
Ultramafic or Ultrabasic rocks সিলিকা শতকরা 45 এর কম।

সিলিকা-সমৃদ্ধ পাথরগুলিতে ম্যাফিক পাথরের তুলনায় এ্যালকালী বেশী থাকে ; ম্যাগনেশিয়া, লাইম ও লৌহ কম থাকে। এজন্য এরকম পাথর হালকা রঙের হয়।

সিলিকা অতি গুরুত্বপূর্ণ হওয়ায় S. J. Shand সিলিকা-স্যাচুরেটেড্ ও সিলিকা-আন্স্যাচুরেটেড্ এই দুইভাগে খনিজগুলিকে ভাগ করেছেন। যে খনিজগুলি ম্যাগমাতে থাকা অবস্থায় সিলিকার সঙ্গে সহনশীল (compatible) তারা হোল সিলিকা সম্পৃক্ত (saturated)

খনিজ, এজন্য এরা কোয়ার্টজের সঙ্গে সংস্পৃষ্ট থাকে। সিলিকা সম্পৃক্ত অন্যান্য খনিজ হোল ফেলসপার, পাইরক্সিন, এমফিবোল, মাইকা, ম্যাগনেটাইট, ইলমেনাইট, টুরম্যালিন, ফায়ালাইট, স্পেসারটাইট, স্ফীন্‌, জারকন, এপেটাইট এবং টোপাজ। সিলিকা-অসম্পৃক্ত (under-saturated) খনিজগুলি অতিরিক্ত সিলিকার সঙ্গে ম্যাগমাটিক অবস্থায় অসহনশীল incompatible। এদের মধ্যে আছে লিউসাইট, নেফিলিন, সোডালাইট, হয়েনাইট, নোসেলাইট, এনালসাইট, ম্যাগনেশিয়ান অলিভিন, মেলিলাইট, স্পিনেল।

সিলিকার পরেই Al_2O_3 অন্যতম গুরুত্বপূর্ণ অক্সাইড। Al_2O_3-র সঙ্গে Na_2O, K_2O ও CaO-র সম্পর্ক থেকে পাথরের শ্রেণীবিভাগ করা যায়। ফেলসপার, নেফিলিন ও লিউসাইটে Al_2O_3-র সঙ্গে Na_2O+K_2O+CaO-র মলিকিউলার অনুপাত $= 1 : 1$ এজন্য Al_2O_3-র মলিকিউলার অনুপাত $1 : 1$ এর থেকে কম হলে তার প্রতিফলন হবে ফেরোম্যাগনেশিয়ান মিনারালের প্রকৃতিতে। S. J. Shand এই অনুপাত অনুসারে পাথরদের 4টি শ্রেণীতে ভাগ করেছেনঃ—

1. Peraluminous rocks.	$Al_2O_3 < Na_2O+K_2O+CaO$ মলিকিউলার অনুপাত অনুসারে	muscovite, biotite, corundum, topaz, tourmaline.
2. Meta aluminous rocks	$Na_2O+K_2O < Al_2O_3 < Na_2O+K_2O+CaO$. মলিকিউলার অনুপাত অনুসারে	hornblende epidote melilite
3. Sub aluminous rocks.	felspar and felspathoid প্রস্তুত করতে যত Al_2O_3 প্রয়োজন তার থেকে অতি সামান্য বেশী থাকলে বা বেশী না থাকলে এরূপ হবে	Olivine orthopyroxene diopside.
4. Peralkaline rocks.	মলিকিউলার অনুপাত অনুসারে $Al_2O_3 < Na_2O+K_2O$	Soda amphiboles and pyroxenes.

প্রথম শ্রেণীর পাথরগুলি অতিরিক্ত সিলিকা-সমৃদ্ধ প্লুটনিক পাথর ও পেগমাটাইট্‌ জাতীয়। দ্বিতীয় শ্রেণীর পাথরগুলি জল-যুক্ত ম্যাগমা থেকে নীচু তাপাঙ্কে কেলাসিত হয়। তৃতীয় শ্রেণীর পাথরগুলি তুলনামূলকভাবে জলবিহীন ও উচ্চ তাপাঙ্কে কেলাসিত হয়। চতুর্থ শ্রেণীর পাথরগুলি শেষ দিকের Na সমৃদ্ধ ম্যাগমার কেলাসনের সময় তৈরী

হয়। সুতরাং দেখা যায় যে এই শ্রেণীবিভাগ কিছুটা পাথরের উৎপত্তির বৈশিষ্ট্যের সঙ্গে বিশেষ সম্পর্কযুক্ত। Cross, Iddings, Pirson এবং Washington নামে আমেরিকার চারজন পেট্রোলজীস্ট 1903 সালে প্রধানতঃ পাথরের রাসায়নিক উপাদানের উপর নির্ভরশীল একটি শ্রেণীবিভাগ তৈরী করেন। একে C.I.P.W অথবা Normative classification বলা হয়। পাথরের রাসায়নিক বিশ্লেষণ থেকে প্রথমে কতগুলি নির্দিষ্ট "স্টাণ্ডার্ড মিনারাল মলিকিউল" হিসাব করা হয়। এই হিসাবের জন্য বিশেষ নিয়ম আছে (A. Holmes, 1930)। এই নিয়ম তৈরী করার সময় ম্যাগমাতে সাধারণতঃ বেশ সরল যে সব খনিজ তৈরী হয় শুধু তাদেরই ধরা হয়েছে। কিন্তু সহজে পাওয়া যায় এরকম কয়েকটি খনিজ যেমন এম্‌ফিবোল, মাইকা কোন কোন পাইরক্সিন এই হিসাব থেকে বাদ দেওয়া হয়। কারণ তাদের সংযুতি বেশ জটিল। তাদের উপাদানকে আরও সরল খনিজের সংযুতি হিসাবে ধরে নেওয়া হয়। এই ভাবে হিসাব করা মিনারাল মলিকিউলগুলির অনুপাতকে ঐ পাথরের নর্‌ম (norm) বলা হয়। ঐ পাথরের মোড্‌ (mode) থেকে নর্‌ম আলাদা, কারণ মোড্‌ হোল প্রকৃতপক্ষে যে খনিজ ঐ পাথরে আছে তাদের অনুপাত।

নর্‌মকে দুই ভাগে ভাগ করা যায়:—

(1) Salic group যার মধ্যে আছে—Quartz, Orthoclase, Albite, Anorthite, Leucite, Nepheline, Corundum, Zircon. (2) Femic group যার মধ্যে আছে Diopside, Hypersthene, Olivine, Acmite, Magnetite, Ilmenite, Hematite, Apatite.

স্যালিক্‌ ও ফেমিক্‌ গ্রুপের অনুপাত থেকে প্রথমে পাথরকে দুই শ্রেণীতে ভাগ করা হয় ও তারপর নর্‌মের মলিকিউলগুলির দুটি বা তিনটি একত্রে নিয়ে তাদের বিভিন্ন অনুপাত থেকে আরও শ্রেণীবিভাগ করা হয়।

নর্‌ম হিসাব করা ও সেই অনুসারে শ্রেণী বিভাগের আর একটি পদ্ধতি Paul Niggli স্থির করেছেন (Barth, 1962)। কোন কোন ক্ষেত্রে এই পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়।

প্রাথমিক ম্যাগমা, ম্যাগমা ও আগ্নেয় পাথরের রাসায়নিক উপাদান ও বিশেষত্ব

ম্যাগমা সব আগ্নেয় পাথরের আদি পদার্থ। ম্যাগমা প্রধানতঃ দুই ভাবে সৃষ্টি হলে তাকে প্রাথমিক বলা যায়, যেমন : (1) পৃথিবীর ইতিহাসের আদি যুগ থেকে ভূ-অভ্যন্তরে যদি কোন পদার্থ তরল অবস্থায় থেকে যায় ও ভূত্বকের মধ্যে তার অনুপ্রবেশ ঘটে, (2) কঠিন পাথরের আংশিক অথবা সম্পূর্ণ গলিত হওয়ার জন্য যে ম্যাগমা সৃষ্টি হয়।

ব্যাসল্টের উপাদানযুক্ত ম্যাগমাকে সাধারণতঃ একমাত্র প্রাথমিক ম্যাগমা বলে গণ্য করা হয়। এর কারণ (1) ভূতাত্ত্বিক অতীত থেকে সমস্ত যুগে ব্যাসল্টের উপাদান বিশিষ্ট ম্যাগমা ভূত্বক ভেদ করে বিশাল লাভা-প্রবাহ তৈরী করেছে, (2) মহাসাগরের পাথর প্রায় সবই ব্যাসল্ট্, (3) গবেষণাগারে পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে ব্যাসল্ট্ ম্যাগমা থেকে ব্যামিশ্রণের ফলে প্রায় সব আগ্নেয় পাথর তৈরী হতে পারে।

ব্যাসল্ট্ ম্যাগমাকে প্রাথমিক ম্যাগমা মনে করলেও অন্য ম্যাগমার অস্তিত্ব অস্বীকার করা হয় না। বিভিন্ন উপায়ে প্রাথমিক ব্যাসল্ট্ ম্যাগমা থেকে অন্য ম্যাগমা তৈরী হতে পারে, যেমন ব্যামিশ্রণের ফলে, আংশিক কেলাসনের ফলে অথবা সংমিশ্রণের ফলে এরূপ সম্ভব হতে পারে।

R. A. Daly হিসাব করে দেখিয়েছেন যে উদবেধী অবয়বগুলির বেশীর ভাগ গ্রানাইট এবং গ্রানোডায়োরাইট পাথরে তৈরী এবং নিঃসারী অবয়বগুলির বেশীর ভাগ ব্যাসল্ট্ বা এ্যাণ্ডেসাইটে তৈরী।

ভূত্বকের গভীর অংশ আংশিক বা সম্পূর্ণ গলিত হওয়ার ফলে গ্রানাইটিক ম্যাগমার উৎপত্তি হয় একথা বিভিন্ন সাক্ষ্য থেকে প্রমাণিত হয়েছে। সুতরাং মহাদেশীয় অঞ্চলে প্রাথমিক গ্রানাইট (অর্থাৎ রায়োলাইট) ম্যাগমা সৃষ্টি হওয়া সম্ভব।

বর্তমানে মনে করা হয় যে এ্যাণ্ডেসাইট ম্যাগমা পৃথিবীর ভূ-আলোড়ন-সংকুল এলাকাতে প্রচুর পরিমাণে সৃষ্টি হয়, যেমন দেখা যায় প্রশান্ত মহাসাগরের চারিধারের আগ্নেয়গিরি থেকে এ্যাণ্ডেসাইট লাভার উদ্গিরণ। সুতরাং এ্যাণ্ডেসাইটকে এখন একটি প্রাথমিক ম্যাগমার পর্যায়ে রাখা যেতে পারে। পূর্বে মনে করা হতো যে ব্যাসল্ট্ ম্যাগমার সঙ্গে ভূত্বকের পাথরের পরিমিশ্রণের ফলে এ্যাণ্ডেসাইটের উৎপত্তি হয়, কিন্তু এই অভিমত বর্তমানে গ্রহণযোগ্য না হওয়ায় এ্যাণ্ডেসাইট প্রাথমিক ম্যাগমা হতে পারে।

ম্যাগমার উপাদান ঃ

ব্যাসল্ট্ ম্যাগমার মূল উপাদান ব্যাসল্ট্ পাথরের মত, কিন্তু মনে রাখা দরকার যে ব্যাসল্ট্ লাভা ভূপৃষ্ঠে উদ্গিরিত হওয়ার ফলে তার মধ্যে দ্রবীভূত গ্যাসীয় পদার্থ নির্গত হয়ে যায়। সুতরাং ম্যাগমার উপাদান হিসাবে ঐ ম্যাগমার থেকে কেলাসিত পাথরের উপাদান এবং তার মধ্যস্থ গ্যাসীয় পদার্থ—এই দুই পদার্থ আলোচনা করা প্রয়োজন।

ম্যাগমার মধ্যে ওজন হিসাবে শতকরা 2 ভাগ গ্যাসীয় পদার্থ সাধারণতঃ থাকে। এই গ্যাসীয় পদার্থের মধ্যে শতকরা 70 ভাগ বা তার বেশী জল থাকে। অপর অংশের মধ্যে কার্বন গ্যাসগুলি (CO_2, CO, CH_4 ইত্যাদি) এবং তার থেকে কম থাকে সালফার গ্যাসগুলি (SO_2, H_2S, S_2, SO_3), এছাড়া H_2, HF, HCl, NH_3 ইত্যাদি গ্যাসও সামান্য পরিমাণে থাকে।

প্রধান আগ্নেয় পাথরগুলির রাসায়নিক বিশ্লেষণ ঃ

প্রধান আগ্নেয় পাথরগুলির গড় রাসায়নিক বিশ্লেষণ শতকরা এইরূপ ঃ

	এডামেলাইট (গ্রানাইট) Adamellite	এ্যাণ্ডেসাইট Andesite	ব্যাসল্ট থোলিয়াইট Basalt (tholeiite	এলকালী ব্যাসল্ট Alkali basalt	নেফিলিন সায়নাইট Nepheline syenite	পেরিডোটাইট Peridotite
SiO_2	69·15	54·20	50·83	45·78	55·38	43·54
TiO_2	0·16	1·31	2·03	2·63	0·66	0·81
Al_2O_3	14·63	17·17	14·07	14·64	21·30	3·99
Fe_2O_3	1·22	3·48	2·88	3·16	2·42	2·51
FeO	2·27	5·49	9·06	8·73	2·00	9·84
MnO	0·06	0·15	0·18	0·20	0·19	0·21
MgO	0·99	4·36	6·34	9·39	0·57	34·02
CaO	2·45	7·92	10·42	10·74	1·98	3·46
Na_2O	3·35	3·67	2·23	2·63	8·84	0·56
K_2O	4·58	1·11	0·82	0·95	5·34	0·25
H_2O+	0·54	0·86	0·91	0·76	0·96	0·76
P_2O_5	0·20	0·28	0·23	0·39	0·19	0·05

(S. R. Nockolds, 1954, থেকে সঙ্কলিত)

উপরোক্ত রাসায়নিক বিশ্লেষণগুলি থেকে জানা যায় যে সর্বাপেক্ষা বেশী পরিমাণে আছে : O, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na এবং K। সুতরাং ম্যাগমাগুলি প্রধানতঃ এইসব মৌলিক পদার্থ ও সামান্য পরিমাণে অন্যান্য মৌলিক পদার্থে তৈরী। ম্যাগমার মধ্যে অতি সামান্য পরিমাণে থাকে এইরূপ বহু মৌলিক পদার্থ (trace elements) আছে। ম্যাগমার ভূরাসায়নিক (geochemical) প্রকৃতি ও তার কেলাসনের (crystallisation) এবং ব্যামিশ্রণের (differentiation) বিশেষত্বগুলি জানতে হলে বেশী পরিমাণে উপস্থিত মৌলিক পদার্থ-গুলি ছাড়াও সামান্য পরিমাণে উপস্থিত মৌলিক পদার্থগুলির বিষয় গবেষণা করা প্রয়োজন (Brian Mason, 1966, p. 132—140 দ্রষ্টব্য)।

পঞ্চম অধ্যায়

আগ্নেয় পাথরের প্রস্তুতি

আগ্নেয় পাথরের মধ্যে কাঁচ ও কেলাস—এই দুই রকমের পদার্থ থাকে। ম্যাগমা দ্রুত ঠাণ্ডা হয়ে পড়লে তার উপাদানগুলি কাঁচে (glass) পরিণত হয়; এই রকম দ্রুত ঠাণ্ডা না হলে ম্যাগমা থেকে খনিজের কেলাস (crystal) তৈরী হতে পারে। একটি কেলাসের গঠনে তার উপাদানের এ্যাটমগুলি খুব নিয়মিতভাবে একটি বিশেষ পদ্ধতিতে সাজান থাকে। যেমন দেওয়াল তৈরী করতে ইটগুলি পর পর সাজান হয়, সেই রকম এ্যাটমগুলি বিশেষ পদ্ধতিতে সাজান থাকলে কেলাস তৈরী হতে পারে। কাঁচের মধ্যে এ্যাটমগুলির বিন্যাসের নির্দিষ্ট একটি পদ্ধতি থাকে না- অর্থাৎ কাঁচের এক অংশের এ্যাটমের বিন্যাস অন্য অংশের এ্যাটমের বিন্যাসের মতন হয় না।

ম্যাগমা ঠাণ্ডা হতে থাকলে তার মধ্যে কতগুলি উপাদান ক্রমে সম্পৃক্ত হয়; সম্পৃক্ত হওয়ার তাপাঙ্কে কোন খনিজের কেলাস তৈরী হতে পারে। তাপাঙ্ক আরও কমে এলে ম্যাগমা ক্রমে অতিসম্পৃক্ত হয়ে পড়ে তখন অনেক বেশী সংখ্যায় খনিজ কেলাস তৈরী হতে পারে। খনিজ কেলাস তৈরীর সময় প্রথমে একটি অতি ক্ষুদ্র নিউক্লিয়াস তৈরী আরম্ভ হয় (nucleation) যার মধ্যে এ্যাটমগুলি বিশেষভাবে বিন্যস্ত থাকে। কেলাসন ধীর গতিতে হলে কেলাসগুলি বেশ বড় হতে পারে। নিউক্লিয়াসের সংখ্যা বেশী হলে ও কেলাসন দ্রুত হলে কেলাসের পরিমাপ খুব ছোট হতে পারে। কেলাসনের সময় তাপ নির্গত হয়, এজন্য তখন ম্যাগমা ধীরে ঠাণ্ডা হতে পারে। ম্যাগমা বহু উপাদান বিশিষ্ট হলে কেলাসন কি রকমভাবে হবে তা জানার জন্য গবেষণাগারে পরীক্ষা (laboratory experiments) করা ও ভৌতরসায়ন (physical chemistry) বিদ্যার প্রয়োগ প্রয়োজন।

আগ্নেয় পাথরগুলি গলিত সিলিকেট (silicate melt) থেকে কেলাসিত হয়ে তৈরী হয় একথা আগে বলা হয়েছে। এজন্য যে সব নিয়মে সিলিকেট মেল্ট্ থেকে কেলাসন হয় সেই নিয়মেই ম্যাগমা থেকে আগ্নেয় পাথরের কেলাসন হয়।

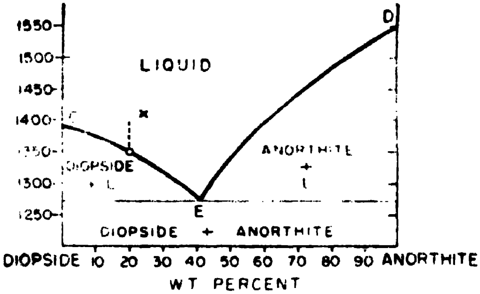
ইউটেক্টিক সিস্টেম (Eutectic system)

কোন কঠিন পদার্থ যেমন খনিজ বা ধাতু যখন তাপে গলে যায়

সেই সময়কার তাপাঙ্ককে বলে গলনাঙ্ক (melting point)। এই গলনাঙ্ক এবং সেই পদার্থের তরল অবস্থা থেকে কেলাসিত হওয়ার তাপাঙ্ক একই। একটি খনিজ পদার্থের সঙ্গে অন্য কঠিন পদার্থ মিশ্রিত থাকলে গলনাঙ্ক কমে যায়। দ্বিতীয় পদার্থের পরিমাণ বাড়ালে খনিজ পদার্থের গলনাঙ্ক আরও কম হয়।

ডাইঅপসাইড—এনরথাইট ($CaMgSi_2O_6$— $CaAl_2Si_2O_8$) ঃ

এইভাবে আমরা গবেষণাগারে দুটি প্রধান খনিজের স্বভাবকে অনুসন্ধান করতে পারি, উদাহরণস্বরূপ দেখা যাক, ডাইঅপসাইড (Diopside, $CaMgSi_2O_6$) ও দ্বিতীয় খনিজ এনরথাইট (Anorthite, $CaAl_2Si_2O_8$)। প্রথোমক্তটি পাইরক্সিন গ্রুপের (Pyroxene group) এবং দ্বিতীয়টি প্লাগীওক্লেস গ্রুপের (Plagioclase group) খনিজ। এদুটি খনিজ বহু পাথরের মূল উপাদান, যেমন ব্যাসল্টের। চিত্র সংখ্যা 23-এ দেখা যায় যে শুধু ডাইঅপসাইড



চিত্র—23

ডাইঅপসাইড—এনরথাইট সিস্টেম। (N. L. Bowen, 1915 অনুসারে)

থাকলে তার গলনাঙ্ক 1391°C। কিন্তু তার সঙ্গে এনরথাইটের ক্রিস্টাল মিশ্রিত থাকলে তার গলনাঙ্ক বা কেলাসন আরম্ভ হওয়ার তাপাঙ্ক কম হবে। কত কম হবে তা নির্ভর করে মিশ্রিত এনরথাইটের পরিমাণ থেকে এবং তা জানা যাবে CE রেখা থেকে। শতকরা 10 ভাগ An থাকলে প্রথম কেলাসন হবে 1375° এবং 20% থাকলে হবে 1350°। অপরদিকে শুধু এনরথাইট থাকলে তার কেলাসন আরম্ভ হবে 1550°, কিন্তু তার সঙ্গে 10% ডাইঅপসাইড মিশ্রিত থাকলে কেলাসন আরম্ভ হবে 1525°তে এবং 20% থাকলে শুরু হবে 1480°তে। শতকরা কত ভাগ এনরথাইট থাকলে তাপাঙ্ক কত কমবে তা দেখান হয়েছে DE রেখায়। 23 ছবিতে দেখা যায় দুই রেখাই E বিন্দুতে

মিশেছে। E একটি বিশেষ বিন্দু যেখানে সবচেয়ে কম তাপাঙ্কে 1274°তে ডাইঅপসাইড ও এনরথাইট এই দুই খনিজই একই সংগে মেল্ট্ থেকে কেলাসিত হবে। এই বিন্দুতে মেল্টের সংযুতি 58% ডাইঅপসাইড, 42% এনরথাইট্। একে **ইউটেক্টিক** (Eutectic) বিন্দু বলা হয়। X বিন্দু 1400°তে নির্দেশ করে যে ডাইঅপসাইড এনরথাইটের এক মিশ্রণ গলিত অবস্থায় থাকবে। আস্তে আস্তে ঠাণ্ডা হলে এই গলন 1350°তে ডাইঅপসাইডে সম্পৃক্ত (Saturated) হওয়ার সংগে কেলাসন আরম্ভ হবে। শুধু ডাইঅপসাইডের কেলাসন হওয়ার ফলে বাকী তরল পদার্থের সংযুতি বদলে যেতে থাকবে এবং তার মধ্যে এনরথাইটের ভাগ বাড়তে থাকবে। তাপাঙ্ক ও সংযুতি উভয়ই একসংগে পরিবর্তনের ফলে গলনটি CE রেখায় চলবে। অবশেষে যখন E বিন্দুতে পেঁছাবে তখন ডাইঅপসাইডের সংগে সংগে এনরথাইটও কেলাসিত হতে থাকবে—তাপাঙ্ক 1274°তে স্থির থাকবে এবং ঐভাবে কেলাসন সম্পূর্ণ হবে ও সেই সংগে গলন নিঃশেষ হয়ে যাবে।

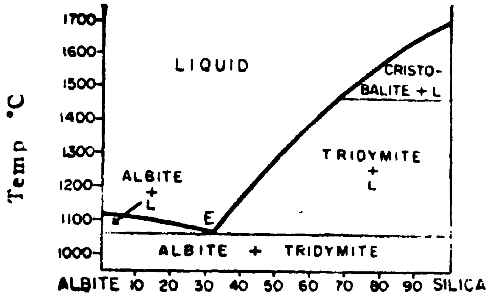
ডাইঅপসাইড আগে বহু সময় ধরে একা কেলাসিত হওয়ার ফলে বড় বড় দানা তৈরী করবে। ইউটেক্টিক বিন্দুতে পেঁছানর পর যখন এনরথাইট্ ও ডাইঅপসাইড একসংগে কেলাসিত হবে তখন তাদের দানা অপেক্ষাকৃত ছোট হবে এবং পরস্পর অন্তর্বর্তী দানা (intergrown crystals) তৈরী করতে পারবে।

ইউটেক্টিক বিন্দুতে ডাইঅপসাইড ও এনরথাইট যে অনুপাতে থাকে কোনও মেল্টে তার থেকে ঐ দুই খনিজের মধ্যে যার উপাদান বেশী থাকবে সেই খনিজ আগে কেলাসিত হবে। দুই পদার্থের এই রকম ইউটেক্টিক সম্পর্ক থাকলে binary eutectic system বলে। (এক্ষেত্রে ডাইঅপসাইড ও এনরথাইটের কঠিন বা তরল বা উভয় অবস্থায় এবং যে কোনও অনুপাতে থাকলে তাদের মধ্যে সব রকম ভৌত রাসায়নিক সম্পর্কের বিশদ আলোচনা—এই অর্থে "সিস্টেম" কথাটি বলা হয়।)

সিলিকা-এলবাইট (SiO_2—$NaAlSi_3O_8$) :

সিলিকা-এলবাইট আর একটি ইউটেক্টিক সিস্টেম (চিত্র—24); ইউটেক্টিক বিন্দুর তাপাঙ্ক হল 1062° এবং এই বিন্দুতে 32% SiO_2 ও 68% $NaAlSi_3O_8$ মলিকিউল থাকে। 1700° থেকে 1480° পর্যন্ত সিলিকা প্রথমে cristobalite আকারে কেলাসিত হয়। 1480°-তে

ক্রিস্টোবালাইটের কেলাসগুলি ট্রিডিমাইটে (tridymite) রূপান্তর করে (polymorphic inversion)। গলনের তাপাঙ্ক 1480°-র তলায় গেলে ট্রিডিমাইট সোজাসুজি গলন থেকে কেলাসিত হয়।



চিত্র—24

সিলিকা—এলবাইট সিস্টেম। (N. L. Bowen, 1916 ; J. F. Schairer and N. L. Bowen, 1956 অনুসারে)

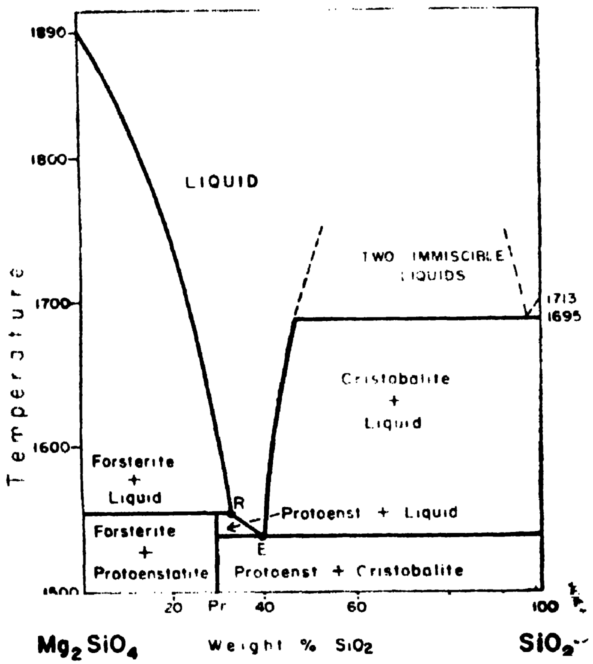
সিলিকা—এলবাইট সিস্টেমে $4\frac{1}{2}\%$ এর মত জল থাকলে এলবাইট্ ও কোয়ার্টজ এক সঙ্গে ইউটেক্টিকে পরস্পর-অন্তর্বর্তী দানা (intergrowth) হিসাবে দ্রুত কেলাসিত হয়। এর ফলে যে গ্রথন তৈরী হয় তাকে বলে গ্রাফিক ইণ্টারগ্রোথ্ (graphic intergrowth)। এই রকম গ্রথন এক প্রকার গ্রানাইট্ পাথরে বিশেষভাবে দেখা যায়; সেই পাথর হচ্ছে গ্রানোফায়ার (granophyre)। (চিত্র—5) ছবিতে একটি গ্রানোফায়ার দেখান হয়েছে; এলবাইটের মত ক্ষারীয় ফেলস্পারের জমিতে কোয়ার্টজ-এর ত্রিকোণ বা সেই রকম কোণযুক্ত কোয়ার্টজের ক্রিষ্টালগুলি ঘন ঘন ভাবে আছে। মাইক্রোস্কোপ দিয়ে দেখলে যদি এই রকম গ্রথন দেখা যায় তাকে বলা হয় মাইক্রো-পেগ্-মাটাইট্ (micropegmatite)।

সিলিকা ও পটাশ ফেলসপারের মধ্যেও 1000°তে একটি ইউটেক্টিক আছে যার সংযুতি হোল 44% SiO_2 ও 56% $KAlSi_3O_8$।

ইনকনগ্রুয়েন্ট মেলটিং-এর সঙ্গে ইউটেক্টিক

একটি মিনারালকে গলাবার সময়ে যদি এইটি সম্পূর্ণভাবে না গলে প্রথমে কিছুটা তরল পদার্থ ও তার সঙ্গে অন্য কোনও মিনারাল তৈরী হয়, তাহলে প্রথমোক্ত মিনারালের এভাবে গলিত হওয়ার পদ্ধতিকে ইনকনগ্রুয়েন্ট মেলটিং (incongruent melting) বলা হয়।

উদাহরণ : (1) পটাশ ফেলস্‌পার $KAlSi_3O_8$ 1150 ডিগ্রীতে গলিত হলে লিউসাইট (Leucite=$KAlSi_2O_6$) এবং তার সঙ্গে সিলিকা-সমৃদ্ধ একটি তরল পদার্থ তৈরী হবে। (2) এনস্টাটাইট (Enstatite=$MgSiO_3$) 1157 ডিগ্রীতে গলিত হলে ফর্‌স্‌টেরাইট (Forsterite, Mg_2SiO_4) এবং সিলিকাযুক্ত তরল পদার্থ তৈরী হয়।



চিত্র—25
সিলিকা—ফর্‌স্‌টেরাইট সিস্‌টেম।
(N.L. Bowen, 1915 ; J. F. Schairer, 1954 অনুসারে)

এজন্য পটাশ ফেলস্‌পার ও এন্সটাটাইটের গলিত হওয়ার ধরণকে ইনকনগ্রুয়েন্ট মেলটিং বলা হয়।

সিলিকা—ফর্‌স্‌টেরাইট (SiO_2—Mg_2SiO_4) **সিস্‌টেম :**

এই সিস্‌টেমে $MgSiO_3$ পাইরক্সিনের উপাদান SiO_2 এবং Mg_2SiO_4 এর মধ্যে অবস্থিত (চিত্র—25)। SiO_2—Mg_2SiO_4 এই সিস্‌টেমের ছবিতে $MgSiO_3$ (অর্থাৎ Mg_2SiO_4=70 wt%+ SiO_2=30 wt%) সংযুতি বিশিষ্ট একটি মেল্ট খুব উঁচু তাপাঙ্ক থেকে ধীরে ধীরে ঠান্ডা করলে প্রথমে ফর্‌স্‌টেরাইট কেলাসিত হবে। কারণ ফর্‌স্‌টেরাইটের কেলাসন ক্ষেত্র (field of crystalliztion) পাইরক্সিনের

($MgSiO_3$) সংযুতি ছাড়িয়েও বিস্তৃত। এজন্য গলন থেকে প্রথমে পাইরক্সিন কেলাসিত হোল না। ফর্স্টেরাইট কেলাসন হওয়ার জন্য সংগে সংগে অবশিষ্ট গলন ক্রমশঃ সিলিকাতে সমৃদ্ধ হতে থাকলো ও তার সংযুতি PR রেখা দিয়ে অবশেষে R বিন্দুতে পৌঁছবে। এই বিন্দুতে 1557° তাপাঙ্কে গলনের মধ্যে একটি বিক্রিয়া (reaction) হবে। এই বিক্রিয়ার ফলে প্রোটোএন্সটাইট নামে পাইরক্সিন ($MgSiO_3$) তৈরী হবে। প্রোটোএন্সটাটাইট উচ্চ তাপাঙ্কে কেলাসিত হয় এবং এটি সাধারণ এন্সটাটাইটের একটি পলিমর্ফ। নীচু তাপাঙ্কে এই পলিমর্ফ সাধারণ এন্সটাটাইটে পরিবর্তিত হয়ে যায়।

Mg_2SiO_4	+	SiO_2	=	$2MgSiO_3$
ফর্স্টেরাইট		সিলিকা		প্রোটোএন্সটাটাইট (পাইরক্সিন)
(খনিজ)		(গলন)		(খনিজ)

এইজন্য ফর্স্টেরাইট ও প্রোটোএন্সটাটাইটের মধ্যে বিক্রিয়া সম্পর্কে (reaction relation) আছে বলা হয়। বিক্রিয়া বিন্দু R কে Peritectic reaction point বলা হয়।

যে সব মেল্টে প্রথমে সিলিকা কম থাকে, (যেমন $MgSiO_3$-র বাম দিকের [চিত্র 25] কোন সংযুক্তি ধরা হলে) সেইসব মেল্ট্ থেকে অবশেষে ফর্স্টেরাইট ও প্রোটোএন্সটাটাইট তৈরী হয়। যেসব মেল্ট্ সিলিকাতে অতিসম্পৃক্ত থাকে সেইগুলি অবশেষে সিলিকা-পাইরক্সিন ইউটেক্টিকে (E) কেলাসিত হয়; এই রকম মেল্টে যদি R এর থেকেও কম সিলিকা থাকে তাহলে ফর্স্টেরাইট একটি ক্ষণস্থায়ী ফেজ (phase) হিসাবে প্রথমে কেলাসিত হয় কিন্তু মেল্ট্ R বিন্দুতে পৌঁছালে বিক্রিয়া (react) করে বিলুপ্ত হয়। এই সংগে প্রোটো-এন্সটাটাইট কেলাসিত হয়। অতঃপর মেল্ট্ সিলিকা ও পাইরক্সিনের ইউটেক্টিকে (E) কেলাসন সম্পূর্ণ করে।

এই সিস্টেমটি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ (1) Mg_2SiO_4 ও $MgSiO_3$ এর মধ্যবর্তী মেল্ট্ যখন R বিন্দু বা তার কাছে পৌঁছায় তখন তার থেকে ফর্স্টেরাইট কেলাসগুলি যদি পৃথক হয়ে যায় তবে তা আর মেল্টের সংগে রিএক্ট্ করতে পারে না। তখন এই মেল্ট্ থেকে পাইরক্সিন কেলাসিত হয় এবং E-তে পৌঁছে সিলিকা ও পাইরক্সিন কেলাসিত হয়। এই থেকে বোঝা যায় যে সিলিকা-সম্পৃক্ত নয় এই

রকম মেল্ট্ অলিভিনের কেলাস থেকে বিচ্ছিন্ন হলে সিলিকা অতি-সম্পৃক্ত পাথর তৈরী করতে পারে। (2) $MgSiO_3$ ও R এর মধ্যবর্তী কোনও মেল্টের কম্পোজিশান থাকলে প্রথমে যখন অলিভিন একটি ক্ষণস্থায়ী ফেজ হিসাবে কেলাসিত হয়, তখন তা গলন থেকে বিচ্ছিন্ন হতে পারে। এর কেলাসগুলি সঞ্চিত হলে অলিভিন পাথর বা ডানাইট (Dunite) তৈরী হতে পারে। একথা মনে রাখা দরকার যে এই গলন প্রথমে সিলিকাতে অতিসম্পৃক্ত ছিল। এই রকম হলে অবশিষ্ট গলনে সিলিকার পরিমাণ বেশ বৃদ্ধি পাবে এবং E বিন্দুতে সিলিকার কেলাস অর্থাৎ Cristobalite বেশী তৈরী হবে।

উপরোক্ত (1) ও (2) ক্ষেত্রে কেলাসিত ফেজ ও মেল্ট্ বিচ্ছিন্ন হয়ে যাওয়ার জন্য সব সময়ে একত্রে সাম্য অবস্থায় অর্থাৎ ইকুইলিব্রিয়ামে (equilibrium) ছিল না--এজন্য এই রকম কেলাসন কে ফ্রাকসনাল বা আংশিক কেলাসন (fractional crystallization) বলা হয়: এই রকম কেলাসনকে অসাম্যভাবে অথবা ডিস্ইকুইলিব্রিয়াম (disequilibrium) কেলাসনও বলা হয়।

সমাকৃতিত্ব (Isomorphism) :

সাধারণ অলিভিন দুইটি এন্ড মেম্বার (end member) অণু দিয়ে তৈরী, যথা ফরস্টেরাইটের Mg_2SiO_4 ও ফায়ালাইটের Fe_2SiO_4 সমাকৃতি অথবা আইসোমরফাস্ মিক্সচার (isomorphous mixture)। অর্থাৎ এই খনিজ দুটির উপাদানের যে কোনও অনুপাতের মিশ্রণ হলে যে কেলাস তৈরী হয় তার আকার এবং গঠন সবই এক রকম।

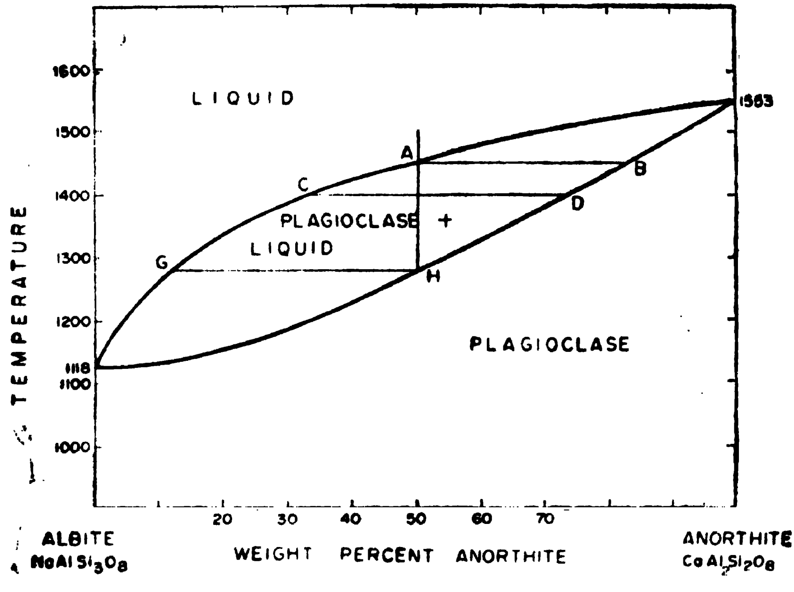
অলিভিনের উপাদানের এই অনুপাতিক বৈশিষ্ট্যকে বলা হয় ফরস্টেরাইটের মধ্যে ফায়ালাইটের **কেলাস-দ্রবণ** বা মিশ্রিত কেলাস বা কঠিন-দ্রবণ (crystalline solution, or mixed crystals, or solid solution) : এর মধ্যে প্রথমোক্ত কথাটি অধিক তাৎপর্যপূর্ণ। যে কঠিন পদার্থের এই গুণ থাকবে তা ঠিক তরল দ্রবণের সঙ্গে তুলনীয়। তরল দ্রবণের মতই কেলাসগুলির মধ্যেও ঐ দুই উপাদান সমস্বত্ব (homogeneous) ভাবে মিশ্রিত থাকবে। অলিভিনের ক্ষেত্রে Mg^{++} এর স্থানে কেলাসের এ্যাটমিক স্ট্রাকচারের Fe^{++} যে কোনও অনুপাতে বসতে পারে কারণ এদের আয়নিক রেডিয়াস যথাক্রমে $0{\cdot}66\text{Å}$ এবং $0{\cdot}74\text{Å}$ হওয়ায় খুব কাছাকাছি এবং তাদের উভয়ের চার্জ (++) হওয়ায় সমান। প্লাগীওক্লেসের ক্ষেত্রে চার্জ বিভিন্ন হলেও একটি মৌলিক পদার্থ অন্য মৌলিক

1Å = Ångstrom = 10^{-10} Metre

পদার্থের জায়গায় বসতে পারে। Ca^{++}, (0·99 Å) এর জায়গায় Na^{+}, (0·97Å) বসলে একটি চার্জ বেশী হওয়ার ফলে Si^{++++}, (0·42 Å) এর জায়গায় Al^{+++}, (0·51 Å) গঠনে ঢেকে এবং তার ফলে চার্জের ভারসাম্য রক্ষা হয় ও কেলাস-দ্রবণ সম্ভব হয়।

কেলাস দ্রবণযুক্ত বাইনারী সিস্টেম : (এলবাইট—এনরথাইট)

খাঁটি এলবাইট 1118° C এবং এনরথাইট 1553° C-এ কেলাসিত হয় (চিত্র—26)। এই দুই পদার্থের উপাদান শতকরা 50 ভাগ করে মিশ্রিত



চিত্র—26

এলবাইট—এনরথাইট সিস্টেম।

(N.L Bowen, 1913 ; J. F. Schairer, 1960 অনুসারে)

আছে এই রকম একটি গলন উচ্চ তাপাঙ্ক থেকে ঠাণ্ডা করা হলে 1450° তে প্রথমে কেলাসন আরম্ভ হবে। প্রথম কেলাসের উপাদান হবে B এর মত অর্থাৎ Ab_{17} An_{83}। আরও ঠাণ্ডা হলে ও ইকুই-লিব্রিয়াম অবস্থায় থাকলে মেল্ট ও কেলাসগুলির কম্পোজিশান বদলাবে। মেল্টের উপাদান ACG রেখায় ও কেলাস BDH রেখার মত পরিবর্তিত হবে। ACG রেখাকে liquidus এবং BDH রেখাকে solidus বলা হয়। 1400°তে তরল পদার্থ থাকবে C বিন্দুর মত উপাদানে ও কেলাস D এর মত উপাদানে। 1285° তে কেলাসগুলি

Ab_{50} An_{50} উপাদান বিশিষ্ট হবে। আর মেল্ট্ C বিন্দুতে নিঃশেষ হয়ে যাবে। আগে উচ্চ তাপাঙ্কে কেলাসিত প্লাগীওক্লেশ যখন তাপাঙ্ক কমবে তখন মেল্টের সঙ্গে ইকুইলিব্রিয়ামে থাকবে না। এজন্য কেলাস ও তরল পদার্থের মধ্যে মৌলিক পদার্থের এ্যাটমের আদান প্রদান হবে এবং এই সময়কার তাপাঙ্কের উপযোগী কেলাসের ও মেল্টের কম্পোজিশান যখন হবে তখন ইকুইলিব্রিয়ামে আসবে।

যদি তাড়াতাড়ি কেলাসনের ফলে মেল্টের কম্পোজিশানের পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে কেলাসগুলির কম্পোজিশান পরিবর্তিত হতে না পারে তাহলে আগে কেলাসিত দানাগুলির বৃদ্ধির সময় তাদের উপর চারিদিকে একটা নতুন কেলাসিত আস্তরণ পড়তে পারে। এই আস্তরণটি তৈরীর সময় মেল্টের সঙ্গে ইকুইলিব্রিয়ামে থাকবে। কিন্তু তার ভিতরের অংশটি চাপা পড়ে যাওয়ার জন্য মেল্টের সংস্রবে না আসতে পারার ফলে আগের কম্পোজিশানেই থেকে যাবে, অর্থাৎ এগুলি এনরথাইটে বেশী সমৃদ্ধ থাকবে। এই রকম ভাবে যে কেলাস তৈরী হয় তাকে জোন্ড্ কেলাস (Zoned crystal) বলে। এইভাবে কেলাসন হলে G বিন্দুতে পৌঁছানর পরও কিছু এলবাইট সমৃদ্ধ মেল্ট থেকে যাবে এবং তার চেয়ে নীচু তাপাঙ্কেও কেলাসন হতে থাকবে। যতক্ষণ মেল্ট্ থাকবে ততক্ষণ এইভাবে কেলাসন চলবে। এই রকম কেলাসনকে আংশিকভাবে কেলাসন (fractional crystallization) বলা হয়।

ইকুইলিব্রিয়াম কেলাসনের পরিবর্তে ফ্রাকসনাল কেলাসন হলে, মেল্ট্ এলবাইটে অধিক সমৃদ্ধ হয়ে পড়ে। এই পদ্ধতিতে চরমভাবে ফ্রাকসনাল কেলাসন হলে এলবাইট ও এনরথাইটের যে কোনও অনুপাতের মেল্ট্ থেকে সবশেষে খাঁটি এলবাইট কেলাসিত হতে পারে।

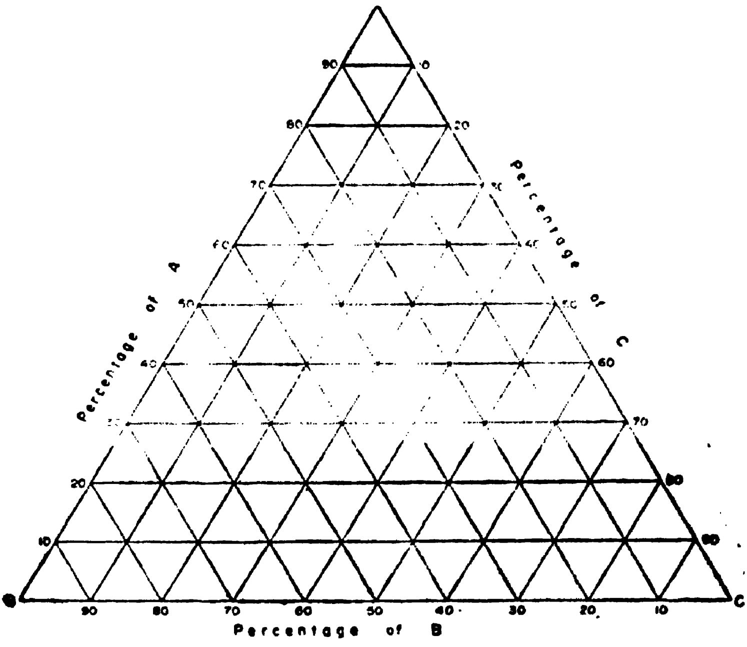
প্লাগীওক্লেসের $Ab_{50}An_{50}$ কম্পোজিশানের কেলাসকে কঠিন অবস্থায় গরম করলে প্রথম গলন শুরু হবে 1285° তে এবং ঐ তরল পদার্থের কম্পোজিশন হবে $Ab_{86}An_{14}$ এবং শেষ হবে 1450° তে। যখন শেষ কেলাসগুলি গলে যাবে তখন তাদের কম্পোজিশন থাকবে $Ab_{17}An_{83}$। অর্থাৎ কেলাস-দ্রবণগুলির গলন প্রক্রিয়া ঠিক কেলাসন প্রক্রিয়ার বিপরীত। এই রকমভাবে গলনকে ইনকনগ্রুয়েন্ট মেল্টিং বলে।

কেলাসদ্রবণযুক্ত আর একটি প্রয়োজনীয় বাইনারী সিস্টেম হোল ফর্স্টেরাইট (Forsterite, Mg_2SiO_4) এবং ফায়ালাইট (Fayalite, Fe_2SiO_4) এর মধ্যে। এই দুই অণুর মধ্যে সম্পূর্ণ কেলাস দ্রবণের

(Complete solid solution) ফলে অলিভিন খনিজ তৈরী হয়। এই সিস্টেমে অনেকটা ঠিক প্লাগীওক্লেসের মত ফর্স্টেরাইট উচ্চ গলনাঙ্ক বিশিষ্ট প্রান্তিক উপাদান (এণ্ড মেমবার), এবং ফায়ালাইট নিম্ন গলনাঙ্ক বিশিষ্ট অপর এণ্ড মেমবার।

টারনারী সিস্টেম (Ternary System)

বহু উপাদানযুক্ত ম্যাগমার কেলাসন ভালভাবে বোঝা যায় যদি তিন উপাদান বিশিষ্ট তরল পদার্থের কেলাসন গবেষণাগারে পরীক্ষা করে দেখা যায়।



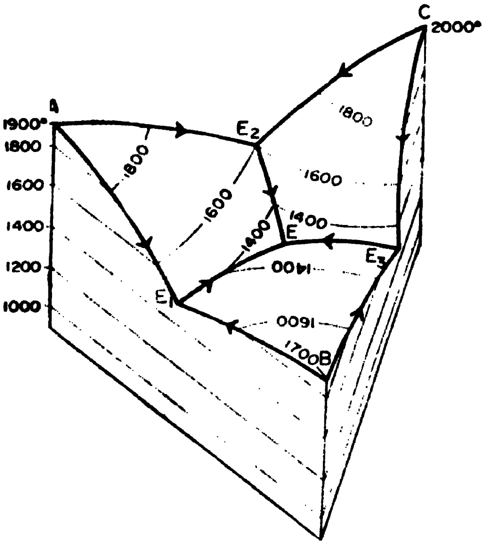
চিত্র—27

Ternary চিত্রে A, B এবং C—তিন উপাদানের শতকরা পরিমাণ নির্দেশ করার পদ্ধতি। (A+B+C=100%)

তিন উপাদান বিশিষ্ট গলনের কম্পোজিশন কাগজের উপর একটি ত্রিভুজ এঁকে দেখান যায়। একটি ত্রিভুজের A, B ও C এই তিন শীর্ষবিন্দুতে তিন উপাদানের শতকরা 100 ভাগ নির্দেশ করে। একটি শীর্ষবিন্দুর বিপরীত বাহু ঐ উপাদানের শূন্যতা নির্দেশ

করে। এই দুইয়ের মধ্যবর্তী অংশে ঐ উপাদানের 0% থেকে 100% থাকবে যেমন চিত্রে দেখান হয়েছে (চিত্র—27)।

এইরকম তিন উপাদান বিশিষ্ট গলনের কেলাসন তাপাঙ্ক কিন্তু ABC ত্রিভুজের উপর লম্ব এঁকে তৃতীয় ডাইমেনসানে (dimension) দেখাতে হবে। কেলাসনের তাপাঙ্কের (অর্থাৎ liquidus-এর) পরিবর্তন ABC ত্রিভুজের উপর একটি উঁচুনীচু তল তৈরী করবে (চিত্র 28)। লিকুইডাসের উঁচুনীচু তলকে কাগজের সমতলে ABC ত্রিভুজের উপর Contour line দিয়ে দেখান হয়, যেমন করা যায়



চিত্র—28

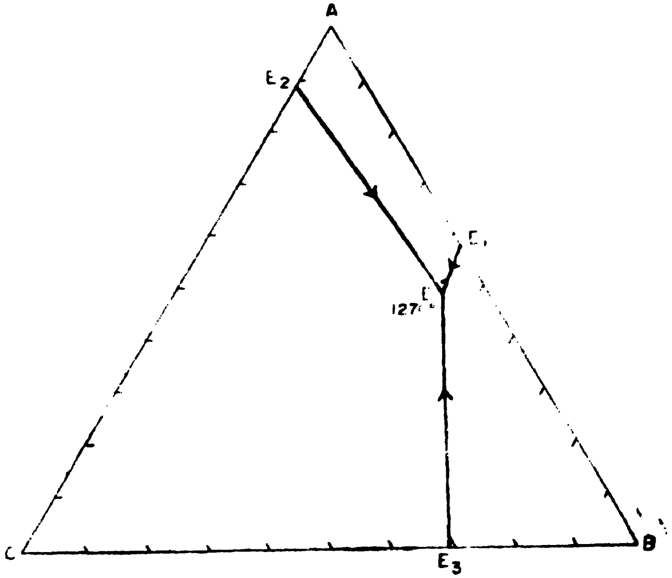
A, B এবং C—তিন উপাদানযুক্ত একটি আদর্শ টারনারী ইউটেক্‌টিক সিস্‌টেম। কেলাসনের তাপাঙ্ক তৃতীয় ডাইমেনসনে দেখান হয়েছে।

কোনও এলাকার পাহাড়, সমভূমি, নদী দেখানোর জন্য ম্যাপের উপর কনটুর লাইন এঁকে।

তিনটি বাইনারী ইউটেক্‌টিকযুক্ত সিস্‌টেম :

তিন উপাদান বিশিষ্ট একটি টারনারী সিস্‌টেম ABC ত্রিভুজে দেখান হয়েছে। এই টারনারী সিসটেমে A—B, B—C, C—A এই প্রত্যেকটি দুই উপাদান বিশিষ্ট ইউটেক্‌টিক সম্পর্কযুক্ত সিস্‌টেম। A এবং B-র মধ্যে যে ইউটেক্‌টিক আছে তার সংগে তৃতীয় উপাদান

C থাকলে ঐ ইউটেক্‌টিকের তাপাঙ্ক কম হবে। C যতবেশী পরিমাণে থাকবে ঐ তাপাঙ্ক তত কমতে থাকবে, যেমন দেখান হয়েছে E_1—E রেখায় (ছবি 29)। A ও C এই দুই উপাদানের মধ্যে আছে ইউটেক্‌টিক E_2। তার সঙ্গে তৃতীয় উপাদান B থাকলে E_2—E রেখায় ইউটেক্‌টিক পরিবর্তন হবে। B ও C এর মধ্যে ইউটেক্‌টিক হল E_3 এবং A উপাদান যোগ করলে E_3—E রেখায় তার পরিবর্তন হবে।



চিত্র—29

একটি টারনারী ইউটেক্‌টিক সিস্টেম। Diopside—Anorthite—Forsterite System-এর সঙ্গে তুলনীয়।

E_1—E এই রেখায় A এবং B এই দুই পদার্থই এক সঙ্গে কেলাসিত হবে এজন্য একে Cotectic line বলে; সেই সঙ্গে অবশিষ্ট তরল পদার্থ ক্রমে C-তে সমৃদ্ধ হবে ও E-র দিকে তার উপাদান পরিবর্তন করবে। সেইরকম E_2—E, A এবং C-এর জন্য ও E_3—E, B এবং C এর জন্য কোটেকটিক লাইন। E এই সিস্টেমের টারনারী ইউটেক্‌টিক, এই বিন্দুতে তাপাঙ্ক সবচেয়ে কম।

B—E_1—E—E_3 এই অঞ্চলে কোন গলনের উপাদান শুরুতে থাকলে প্রথমে B কেলাসিত হবে। সেইজন্য অবশিষ্ট তরল পদার্থের উপাদান

নির্দেশক বিন্দু, B শীর্ষবিন্দুর বিপরীত দিকে পরিবর্তিত হতে থাকবে এবং ক্রমে E_3—E অথবা E_1—E কোটেকটিক রেখার সঙ্গে মিলিত হবে, E_3—E কোটেকটিক রেখাকে স্পর্শ করলে দ্বিতীয় পদার্থ C কেলাসিত হতে থাকবে B-এর সঙ্গে এবং তরল পদার্থের উপাদান E_3-র দিক থেকে E-র দিকে যাবে। E-তে পৌঁছানর সঙ্গে সঙ্গে তরল পদার্থ থেকে A কেলাসিত হতে আরম্ভ করবে কারণ E এই সিস্টেমের টারনারী ইউটেক্‌টিক এবং এই বিন্দুতে A, B ও C এই তিন পদার্থই কেলাসিত হবে।

এই রকম সিস্টেমের বিশেষত্ব হল এই যে একবার কেলাসন শুরু হলে সেই পদার্থ শেষ পর্যন্ত কেলাসিত হতে থাকবে। যদি তিন উপাদান গলনের মধ্যে থাকে তাহলে সব সময় শেষ কেলাসন হবে E বিন্দুতে। আগে কেলাসিত কোনও খনিজ যদি গলন থেকে অপসারিত হয়ে সঞ্চিত হয় তার ফলে অবশিষ্ট গলনের উপাদানের কোনও পরিবর্তন হবে না।

ছবিতে যে টারনারী সিস্টেম দেখান হয়েছে তা Diopside—Anorthite—Forsterite System-এর মত। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে E_3—E এই অংশে ডাইঅপসাইড—এনরথাইট—ফর্‌স্‌টেরাইট সিস্টেমে একটি ছোট Spinel (MgO, Al_2O_3, SiO_2) ক্ষেত্র অবস্থিত, এটা ছবিতে দেখান হয়নি।

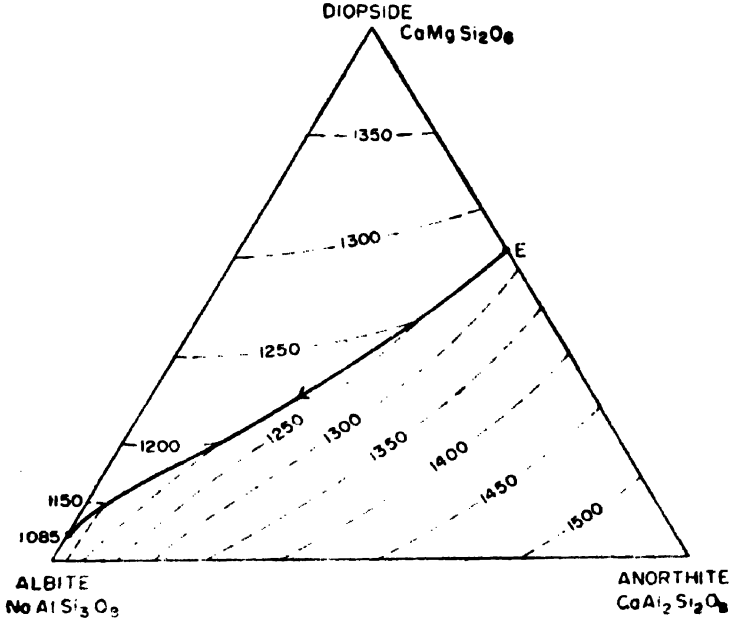
এই সিস্টেমের A, B ও C যথাক্রমে ডাইঅপসাইড—ফর্‌স্‌টেরাইট—এনরথাইটের মত। ডাইঅপসাইডের মত ক্লাইনোপাইরক্সিন, ফর্‌স্‌টেরাইটের মত অলিভিন ও এনরথাইটের মত ক্যালসিয়াম-সমৃদ্ধ প্লাগীওক্লেস হলো ব্যাসল্ট্‌ ম্যাগমার প্রধান উপাদান। এর থেকে বলা যায় যে, ব্যাসল্টের এই প্রধান তিনটি উপাদানের মধ্যে ইউটেক্‌টিক সম্পর্ক আছে। এদের পরস্পরের মধ্যে বিক্রিয়া সম্পর্ক বা কেলাস-দ্রবণ নেই।

ডাইঅপসাইড—এনরথাইট—এলবাইট সিস্টেম :

ডাইঅপসাইড ($CaMgSi_2O_6$)—এনরথাইট ($CaAl_2Si_2O_8$)—এলবাইট ($NaAlSi_3O_8$) একটি টারনারী সিস্টেম। ছবিতে (চিত্র 30) দেখা যাবে যে একটিমাত্র বাউন্ডারী কার্ভ ডাইঅপসাইডের ক্ষেত্র থেকে প্লাগীওক্লেসের ক্ষেত্রকে আলাদা করেছে।

এনরথাইটের দিক থেকে কেলাসন হওয়ায় তাপাঙ্ক এলবাইটের দিকে কমতে থাকে। ডাইঅপসাইড ও এনরথাইটের মধ্যের ইউটেক্‌-

টিকের তাপাঙ্ক 1274° থেকে বাউন্ডারী কার্ভের তাপাঙ্ক ডাইঅপসাইড ও এলবাইটের মধ্যে সর্বনিম্ন তাপাঙ্কের 1085° দিকে কমতে থাকে। ঐ তাপাঙ্কযুক্ত বিন্দু ইউটেক্টিকের মত সম্পর্কযুক্ত।

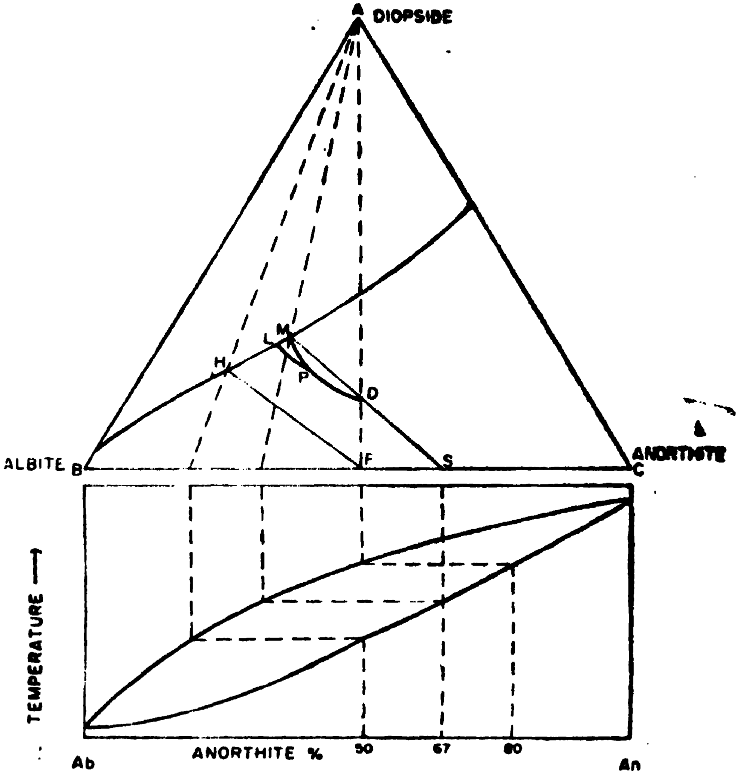


চিত্র—30

ডাইঅপসাইড—এলবাইট—এনরথাইট সিস্টেম। (N. L. Bowen, 1915 অনুসারে)

প্লাগীয়ক্লেস ক্ষেত্রে অবস্থিত $Ab_{50}An_{50}$ 85% এবং Diopside 15% এরকম উপাদান বিশিষ্ট একটি গলিত মিশ্রণ (31 চিত্রে উপাদান D বিন্দুর মত) উদাহরণ স্বরূপ নেওয়া হল। এই গলিত মিশ্রণ থেকে ঠান্ডা হওয়ার সময় প্রথমতঃ 1375° ডিগ্রীতে Ab_{20} An_{80} প্লাগীয়ক্লেস কেলাসিত হবে। এলবাইট—এনরথাইট সিরিজের মত এক্ষেত্রেও প্রথম কেলাসিত প্লাগীওক্লেস এনরথাইট সমৃদ্ধ এবং তাপাঙ্ক কমতে থাকার সঙ্গে সঙ্গে এই কেলাসগুলি গলিত তরল পদার্থের সঙ্গে বিক্রিয়ার ফলে তাদের কম্পোজিশান পরিবর্তন করে। 1300° তাপাঙ্কে তরল গলনের উপাদান P বিন্দুর মত এবং তার সঙ্গে যে প্লাগীয়ক্লেস আছে তার উপাদান $Ab_{25}An_{75}$। তাপাঙ্ক আরো কমলে 1216° ডিগ্রিতে তরল পদার্থ M বিন্দুর মত উপাদান

বিশিষ্ট হবে এবং এই বিন্দু ডাইঅপসাইডের ক্ষেত্রের বাউণ্ডারী কার্ভের উপর অবস্থিত বলে এই প্রথম ডাইঅপসাইড কেলাসন আরম্ভ হবে। এই সময় প্লাগীয়ক্লেসের সব কেলাসগুলি বিক্রিয়ার ফলে S বিন্দুর মত Ab_{33} An_{67} হবে। তাপাঙ্ক আরও কমলে তরল পদার্থের



চিত্র—31

ডাইঅপসাইড—এলবাইট—এনরথাইট সিস্টেমের কেলাসন পদ্ধতি।
(N.L. Bowen, 1915, 1928, E. Wahlstrom, 1956 অনুসারে)

উপাদান ও তাপাঙ্ক নির্ধারণকারী বিন্দু বাউণ্ডারী কার্ভের উপর দিয়ে এলবাইটের দিকে চলতে থাকবে, এবং তার থেকে প্লাগীওক্লেস ও ডাইঅপসাইড একসঙ্গে কেলাসিত হতে থাকবে। 1200° তাপাঙ্কে সব তরল পদার্থ নিঃশেষ হয়ে যাবে এবং নিঃশেষ হবার মুহূর্তে তরল পদার্থের উপাদান H বিন্দুর মত থাকবে এবং সকল প্লাগীওক্লেসই F বিন্দুর মত $Ab_{50}An_{50}$ উপাদান বিশিষ্ট হবে।

লক্ষ্য করা দরকার যে তরল পদার্থ কেলাসিত হবার ফলে তার তাপাঙ্ক ও উপাদানের যে পরিবর্তন হচ্ছে তার গতিপথ হল DPM রেখা। এই রেখার উপর কোনও বিন্দু (যেমন P)তে তরল পদার্থের প্রথম কম্পোজিশান থাকলে কেলাসনের ফলে তার গতিপথের পরিবর্তন PL রেখা দিয়ে নির্ধারিত হবে PM রেখার মত নয়। অর্থাৎ P উপাদান বিশিষ্ট তরল পদার্থের পরিবর্তনের গতিপথ হবে PM যখন তার মধ্যে D থেকে P পর্যন্ত কেলাসিত প্লাগীওক্লেস থাকবে এবং তার সামগ্রিক উপাদান হবে D বিন্দুর মত। P বিন্দুতে প্রাথমিক উপাদান বিশিষ্ট তরল পদার্থ H বিন্দুতে সম্পূর্ণ কেলাসিত হবে না, তার থেকেও নিম্ন তাপাঙ্ক বিশিষ্ট বিন্দুতে হবে।

Dতে প্রাথমিক কম্পোজিশান বিশিষ্ট কোন মেল্ট্ কেলাসনের ফলে P-তে পৌছানর পর যদি সব কেলাসগুলি বাকী তরল পদার্থ থেকে অপসারিত হয় তাহলে তার পরের কেলাসনে তরল পদার্থের পরিবর্তন PL রেখায় হবে—এই রকম পদ্ধতিতে ফ্রাকসনাল কেলাসন হয়। সুতরাং ডাইঅপসাইড-এনরথাইট-এলবাইট সিস্টেমে ফ্রাকসনাল কেলাসন হলে (1) প্রথমে প্লাগীওক্লেস কেলাসন অনেকটা নীচু তাপাঙ্ক পর্যন্ত চলবে। (2) তারপর ডাইঅপসাইড ও প্লাগীওক্লেসের কোটেক্টিক কেলাসন সাধারণতঃ যে তাপাঙ্কে কেলাসন হয় তারচেয়ে অনেক নীচু তাপাঙ্ক পর্যন্ত চলবে। (3) শেষ তরল পদার্থ অর্থাৎ অবশিষ্ট মেল্ট্ এলবাইট অণুতে সমৃদ্ধ হবে।

এই সিস্টেমে যদি ইকুইলিব্রিয়াম রক্ষা না হয়, বিশেষ করে যদি আগে কেলাসিত প্লাগীওক্লেস অপসারিত হয়, তাহলে কেলাসিত একটি অংশে এনরথাইট সমৃদ্ধ প্লাগীওক্লেস সঞ্চিত হবে।

ডাইঅপসাইড ক্ষেত্রে অবস্থিত কোনও মেল্ট্ থেকে প্রথমে যে ডাইঅপসাইড কেলাস তৈরী হয় তার অপসারণ হলে কিন্তু পরের কেলাসিত খনিজের কোন পরিবর্তন হয় না।

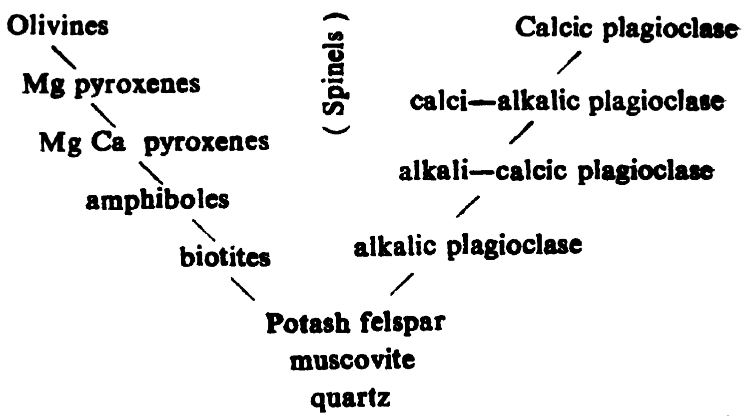
এই সিস্টেমের কম্পোজিশান সাধারণতঃ ব্যাসল্ট্ ম্যাগমার বেশ কাছাকাছি। এজন্য এ থেকে আমরা ব্যাসল্টের কেলাসন কেমন হবে বুঝতে পারি। এই ম্যাগমা থেকে প্রথমে প্লাগীওক্লেস অথবা ডাইঅপ-সাইড কোনটি কেলাসিত হবে তা নির্ভর করে, ম্যাগমার প্রথম কম্পোজি-শান ডাইঅপসাইডের ক্ষেত্রে কিংবা প্লাগীওক্লেসের ক্ষেত্রে অবস্থিত ছিল তার উপর। তারপরে নিঃশেষিত না হওয়া পর্যন্ত এই দুই খনিজ বেশীর ভাগ সময় ধরে কেলাসিত হবে।

বিক্রিয়া পদ্ধতি (The Reaction Principle)

আগে যে সিস্টেমগুলি আলোচনা করা হয়েছে তা থেকে দেখা যায় যে পাথরের প্রধান প্রধান মিনারালগুলির মধ্যে ক্রমাগত বিক্রিয়া সম্পর্ক অর্থাৎ যাকে বলা হয় continuous reaction relation, বিশেষভাবে দেখা যায় যেমন প্লাগীওক্লেস সিরিজ, অলিভিন সিরিজ এবং ডাইঅপসাইড—এন্সটাটাইট (পাইরক্সিন) সিরিজ। আরও একটি বিশেষত্ব হল এই যে এই রকম সম্পর্কযুক্ত একটি সিরিজের, যেমন এলবাইট-এনরথাইটের সঙ্গে তৃতীয় একটি উপাদান, যেমন ডাইঅপসাইড যোগ করলেও ঐ ক্রমাগত বিক্রিয়া সম্পর্ক বজায় থাকে।

অপরপক্ষে ফরস্টেরাইটের সঙ্গে মেল্টের বিক্রিয়ার ফলে (প্রোটো) এন্সটাটাইট তৈরী হয়, এজন্য এইরকম সম্পর্কযুক্ত এই দুই খনিজকে বিক্রিয়া যুগ্ম reaction pair বলা হয়। N.L.Bowen (1922) প্রথম দেখিয়েছেন যে এইরকম সম্পর্ক পর পর তিন বা ততোধিক খনিজের মধ্যে দেখা যেতে পারে; এবং পরপর ঐ খনিজগুলি

Reaction Series



সাজালে একটি discontinuous reaction series তৈরী হয়, যেমন ছকে দেখান হয়েছে। এই ডিসকন্টিনিউয়াস রিএকসান সিরিজের এক একটি খনিজ ঐ সম্পর্ক বজায় রেখে আবার নিজস্ব এক একটি

কণ্টিনিউয়াস রিএকসান সিরিজ তৈরী করতে পারে—যেমন অলিভিন ও এন্সটাটাইটের মধ্যে এন্সটাটাইট আবার ডাইঅপসাইডের সঙ্গে কণ্টিনিউয়াস রিএকসান সিরিজ তৈরী করতে পারে, যাদের মধ্যে অলিভিনের সঙ্গে বিক্রিয়া সম্পর্ক বজায় থাকবে। Diopside—Forsterite—Silica সিস্টেমে N. L. Bowen এই বৈশিষ্ট্য প্রমাণ করেছেন। রিএকসান সিরিজের উপর দিকের খনিজগুলি সব সময় পরের খনিজের থেকে উচ্চ তাপাঙ্কে অর্থাৎ আগে কেলাসিত হয়। যদি অলিভিন খুব কম পরিমাণে থাকে, তাহলেও তা এন্সটাটাইটের আগে কেলাসিত হয়। উপরন্তু তার কেলাসন এন্সটাটাইটের কেলাসন হবার আগে সম্পূর্ণ হবে। কিন্তু এই বৈশিষ্ট্য ইউটেক্টিক সম্পর্কযুক্ত খনিজগুলির মধ্যে দেখা যাবে না।

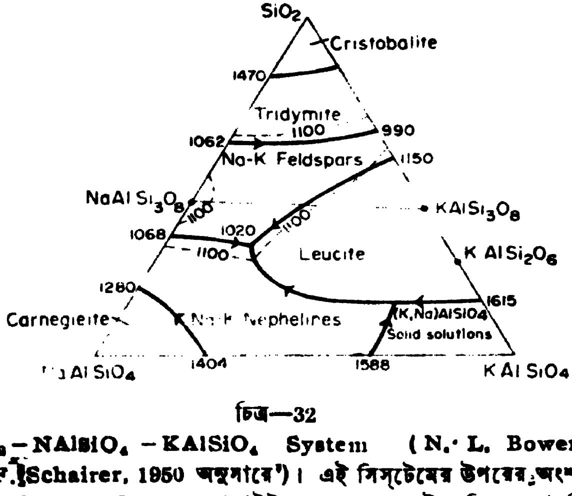
পাথরের মধ্যে continuous reaction relation থাকলে যদি সম্পূর্ণ বিক্রিয়ার অভাব ঘটে তাহলে আগে কেলাসিত অংশের চারিদিকে পরে কেলাসিত অংশের আস্তরণ তৈরী হয়, অর্থাৎ zoning দেখা যায়। সেই রকম discontinuous type এর বিক্রিয়া সম্পর্ক থাকলে আগে কেলাসিত খনিজের চারিদিকে reaction rim বা corona অথবা আবরণের আকারে পরে কেলাসিত অন্য খনিজ দেখা যায়। এর থেকে বোঝা গেছে যে অলিভিন, পাইরক্সিন, এমফিবোল এবং মাইকা একটি ডিসকণ্টিনিউয়াস সিরিজ তৈরী করে। অর্থাৎ মেল্ট অলিভিনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে পাইরক্সিন তৈরী করে, মেল্ট্ পাইরক্সিনের সঙ্গে বিক্রিয়া করে এম্ফিবোল তৈরী করে এবং মেল্ট্ এমফিবোলের সঙ্গে বিক্রিয় করে বায়োটাইট তৈরী করে।

N. L. Bowen এর reaction series এর উপরের অংশে দেখান গলন থেকে উচ্চ তাপাঙ্কে একই সঙ্গে একদিকে অলিভিন ও অন্যদিকে ক্যালসিক প্লাগীওক্লেস, যেমন বাইটাউনাইট, কেলাসিত হতে থাকে। ক্রমে তাপাঙ্ক কমতে থাকলে ঐ দুই সিরিজের মধ্যে উপাদানের পার্থক্যও কমতে থাকে। অবশেষে পটাশ ফেলসপারে ঐ দুই সিরিজ মিলিত হয়। এক সিরিজের বায়োটাইট $K(MgFe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$, ও অন্য সিরিজের পটাশ ফেলসপার $KAlSi_3O_8$ সমৃদ্ধ এ্যালকালী ফেলসপার কেলাসন হওয়ার ফলে ঐ দুই সিরিজের পার্থক্য এত কমে যায় যে তারা মিলিত হয়ে একটি সিরিজ তৈরী করে। শেষ খনিজগুলি অর্থাৎ প্রধানতঃ পটাশ ফেলসপার ও কোয়ার্টজ সবশেষে (বায়োটাইট ও এ্যালকালী ফেলসপার কেলাসিত হওয়ার পর) অবশিষ্ট মেল্ট্ থেকে কেলাসিত হয়।

এই প্রসঙ্গে মনে রাখা দরকার যে ম্যাগমার উপাদান ও তাপাঙ্ক যথোপযুক্ত হলে প্রথমেই এই দুই সিরিজের নীচের দিকে অবস্থিত খনিজ কেলাসিত হতে পারে, যেমন এন্সটাটাইট—লাব্রাডোরাইট, এমফিবোল—এনডেসিন, বায়োটাইট—অলিগোক্লেস ইত্যাদি, এবং সেই অনুসারে নরাইট, ডায়োরাইট, গ্রানাইট ইত্যাদি পাথর তৈরী হতে পারে। তবে এরা সকলেই একটিমাত্র সিরিজ, অর্থাৎ Bowen এর রিএকসান সিরিজের মধ্যে পড়ে।

রিএকসান সিরিজের একটি বিশেষ গুণ এই যে এর ফলে একটি মেল্টের কেলাসনের বেশ খানিকটা পরিবর্তনের সম্ভাবনা থাকে, যেমন রিএকসান বেশী হলে অবশিষ্ট মেল্ট্ শীঘ্র নিঃশেষ হয়ে যায়। এইভাবে যে মিনারালগুলি তৈরী হয় তাদের স্থান রিএকসান সিরিজের গোড়ার দিকে।

যদি রিএকসান কম হয় তাহলে কেলাসিত মিনারালগুলির স্থান সিরিজে গোড়ার দিক থেকে আরম্ভ করে শেষের দিক পর্যন্ত বিস্তৃত



চিত্র—32

$SiO_2-NAlSiO_4-KAlSiO_4$ System (N. L. Bowen, 1937. এবং J. F. Schairer, 1950 অনুসারে)। এই সিস্টেমের উপরের অংশ $SiO_2-NaAlSi_3O_8-KAlSi_3O_8$ গ্রানাইট পাথরের উৎপত্তি সম্পর্কে বিশেষ প্রয়োজনীয়। ট্রিডিমাইট (কোয়ার্টজ) ও Na—K Felspar-এর মধ্যের কোটেক্টিক রেখার মাঝখানে সর্বনিম্ন তাপাঙ্কযুক্ত সিলিকেট গলন থাকে। বেশীর ভাগ আগ্নেয় গ্রানাইটিক পাথরগুলি এই গলনের মত উপাদানযুক্ত।

হতে পারে অর্থাৎ তাদের কেলাসন বেশী তাপাঙ্ক থেকে কম তাপাঙ্ক পর্যন্ত হতে পারে; এর ফলে ফ্রাকসনাল কেলাসন সম্ভব হয়।

N. L. Bowen এবং তাঁর সহকর্মীদের (J. F. Schairer ও O. F. Tuttle) সুদীর্ঘ গবেষণার ফলে জানা গেছে যে এ্যালকালী-মেটাল অক্সাইড এবং তার সঙ্গে পাথরে সাধারণতঃ যে সব অক্সাইড থাকে

সেইগুলি সংযুক্ত মেল্টের কেলাসন হলে অবশেষে মেল্টের মধ্যে সোডা, পটাশ, এলুমিনা ও সিলিকা সমৃদ্ধ হবে এবং সব পরে অর্থাৎ বেশ নিম্ন তাপাঙ্কে তা কেলাসিত হবে। সবশেষে অবশিষ্ট এই মেল্ট্, যার মধ্যে এই চার উপাদান থাকে Bowen (1937) তার নাম দিয়েছেন "Petrogeny's Residua System"। এর উপাদান 32 নম্বর ছবিতে দেখান SiO_2—$KAlSiO_4$—$NaAlSiO_4$ এই ত্রিভুজের কোনও একটি অংশে নির্দেশ করা যায়। প্রথমে ম্যাগমা সম্পূর্ণ ভিন্ন প্রকারের হলেও গোড়ায় কেলাসিত খনিজগুলি যদি কোনও উপায়ে পৃথক হয়ে পড়ে তবে অবশিষ্ট তরল পদার্থের কেলাসনের এই রকমই শেষ পরিণতি হবে। গ্রানাইট, সায়ানাইট, নেফিলিন সায়ানাইট জাতীয় পাথরগুলির উপাদান এই ত্রিভুজের মধ্যে পড়ে। এর থেকে Bowen (1937) দেখিয়েছেন যে ঐ তিন জাতীয় পাথর ম্যাগমার ফ্রাকসনাল কেলাসনের শেষ দিকে অবশিষ্ট মেল্ট্ থেকে কেলাসিত হয়ে তৈরী হয়।

গ্রথন বা টেক্সচর ও ক্ষুদ্র গঠন
(Texture and Structure)

পাথরের মধ্যে কেলাসিত দানা ও কাঁচ যেরকম ভাবে সাজান থাকে তাকে বলা হয় গ্রথন বা টেক্সচার (Texture) ; অণুবীক্ষণযন্ত্রের সাহায্যে টেক্সচার সবচেয়ে ভাল চেনা যায়। কোন পাথরের দুই বা ততোধিক রকমের টেক্সচারের সন্নিবেশ দেখা গেলে তাদের পরস্পরের সম্পর্ককে বলা হয় মাইক্রোস্ট্রাকচার (Microstructure)। টেক্সচার ও স্ট্রাকচার পাথরের খুব গুরুত্বপূর্ণ বৈশিষ্ট্য. কারণ এদের মধ্যে থেকে পাথর তৈরী হওয়ার সময়কার (যেমন আগ্নেয় পাথর ঠাণ্ডা হয়ে কঠিন হওয়ার সময়কার), ভৌত ও রাসায়নিক অনেক তথ্য জানা যায়।

টেক্সচার সুষ্ঠুভাবে জানতে গেলে চারটি তথ্য সংগ্রহ করা দরকার : (1) কেলাসনের মাত্রা অর্থাৎ কতটা কেলাসন হয়েছে (Crystallinity), (2) কেলাসের মাপ. দানা ও গ্রানুলারিটি (Granularity), (3) কেলাসগুলির আকার এবং (4) কেলাসগুলির পরস্পরের মধ্যের সম্পর্ক, বা কেলাস ও কাঁচজাতীয় পদার্থের মধ্যের সম্পর্ক। এই তিন ও চার বিষয়গুলিকে একসঙ্গে বলা হয় পাথরের ফ্যাব্রিক্ (fabric)। পাথরে কেলাসিত পদার্থ ও কেলাসিত নয়, অর্থাৎ কাঁচ—এই দুই অংশের মধ্যের অনুপাত থেকে কেলাসনের মাত্রা পরিমাপ করা যায়।

(ক) যে পাথর সম্পূর্ণভাবে কেলাসিত দানায় তৈরী তাকে বলা হয় হলোক্রস্টালাইন (holocrystalline) পাথর। (খ) সম্পূর্ণ কাঁচ জাতীয় পদার্থে তৈরী পাথরকে বলা হয় হলোহায়ালাইন (holohyaline) পাথর এবং (গ) যে পাথর আংশিক কাঁচ ও আংশিক কেলাসিত দানায় তৈরী তাকে বলা হয় mero-crystalline বা hypo-crystalline পাথর। যে আগ্নেয় পাথর গভীর ভূগর্ভে বা প্লুটনিক অঞ্চলে কেলাসিত তার টেক্সচার হয় হলোক্রস্টালাইন। ভূপৃষ্ঠের কাছাকাছি কেলাসিত আগ্নেয় পাথর মেরোক্রস্টালাইন হয় এবং লাভাতে হলোহায়ালাইন টেক্সচার দেখা যায় ; তাছাড়া ডাইক বা সিলের ধার হঠাৎ ঠাণ্ডা হয়ে যায় এজন্য holohyaline টেক্সচার দেখা যায়। একই পাথরের অবয়বের ধারে টেক্সচার হলোহায়ালাইন ও ভিতরের দিকে হলোক্রস্টালাইন টেক্সচার হওয়া সম্ভব।

ম্যাগমা ঠাণ্ডা হওয়ার সময় তাপমাত্রা কমার বেগ (rate) ও ম্যাগমার সান্দ্রতা (viscosity) এই দুইটিই প্রধানতঃ কেলাসনের মাত্রা নির্ধারিত করে। বেশী সান্দ্রতাযুক্ত ম্যাগমা দ্রুতবেগে ঠাণ্ডা হলে বেশী কাঁচ তৈরী হয়। আস্তে আস্তে ঠাণ্ডা হওয়া ও কম সান্দ্রতা থাকলে কেলাস তৈরী হওয়ায় সাহায্য হয়।

পাথরের কাঁচের মধ্যে অতি ক্ষুদ্র নানা আকারের কেলাসের মত পদার্থ দেখা যায়, এদের বলা হয় কৃস্টালাইট (crystallite)। তবে এগুলি খুব বেশী ছোট হওয়ায় পোলারাইজড লাইটে (Polarized light) কেলাসের মত ব্যবহার করে না। যে সব পদার্থ কেলাস বলে নিশ্চিতভাবে চেনা যায়, তারা কৃস্টালাইটের থেকে কিছু বড় হয় এজন্য এরা কোন খনিজের কেলাস তা নির্ধারণ করা যায়—এগুলিকে বলা হয় মাইক্রোলাইট (microlite)। এরা ছোট রড ও সূচের মত হয় এবং ঐ খনিজের যথোপযুক্ত কেলাসের আদলযুক্ত হয়।

পাথরের মধ্যে যে কাঁচ থাকে তাকে বিশেষভাবে সুপার-কুল্ড্ (super cooled) এবং অত্যন্ত ভিসকাস্ একটি দ্রবণ বলে ধরা যেতে পারে। এর মধ্যে অণু ও পরমাণু কেলাসের মত একটি নিয়মিত পদ্ধতিতে সাজান থাকেনা এজন্য কেলাসিত হওয়ার দিকে কাঁচের একটি স্বাভাবিক প্রবণতা থাকে।

পাথরের মধ্যের কাঁচের ভিতর খুব ছোট ছোট কেলাস তৈরী হলে, সেই কাঁচের স্বভাব নষ্ট হয়ে যায় একে, বলা হয় devitrification; এইরকম হওয়ার ফলে ফেলসাইটিক টেক্সচার তৈরী হয় ও পাথরটিকে বলা হয় felsite।

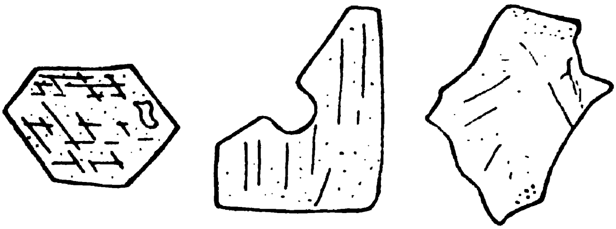
গ্রানুলারিটি (granularity) ঃ

যে কেলাসগুলি দিয়ে আগ্নেয়পাথর তৈরী হয় সেগুলি অতিক্ষুদ্র মাইক্রোলাইট থেকে আরম্ভ করে কয়েক মিটার পর্যন্ত বড় হতে পারে।

একটি পাথরে যদি খালি চোখে কেলাসের দানা দেখা যায়, তাকে বলে ফ্যানারোকৃস্টালাইন (phanerocrystalline) বা ফ্যানারিক (phanaric)। অপরপক্ষে দানাগুলি চোখে না দেখা গেলে এ্যাফানিটিক (aphanitic) টেক্সচার বলা হয়। তবে মাইক্রোস্কোপ দিয়ে এ রকম পাথরের দানা দেখা যেতে পারে। কেলাসের দানাগুলি 30 মিঃ মিঃ থেকে বড় হলে খুব বড় দানা (very coarse), 30 মিঃ মিঃ থেকে 5 মিঃ মিঃ পর্যন্ত হলে বড় দানা (coarse), 5 থেকে 1 মিঃ মিঃ এর মধ্যে হলে মাঝারি দানা (medium) ও 1 মিঃ মিঃ থেকে ছোট হলে সূক্ষ্ম (fine) দানা বিশিষ্ট পাথর বলে বর্ণনা করা হয়।

কেলাসের আকার :

কেলাসের দানার উপরিভাগ ক্রিস্টাল ফেস দিয়ে গঠিত হলে তাকে ইউহেড্রাল (euhedral) দানা (চিত্র—33) এবং কোন দানার উপর ক্রিস্টাল ফেস একেবারে না থাকলে তাকে এ্যানহেড্রাল (anhedral) বলে। কোন দানার কয়েকদিক ক্রিস্টাল ফেসযুক্ত এবং অপরদিকগুলি ক্রিস্টাল ফেস বিহীন হলে সেই দানাকে বলে সাবহেড্রাল (subhedral)।



A B C

চিত্র—33

আগ্নেয় পাথরে খনিজ দানার বিভিন্ন আকার : (A) ইউহেড্রাল, (B) সাবহেড্রাল, এবং (C) এনহেড্রাল। চিত্র 35 দ্রষ্টব্য।

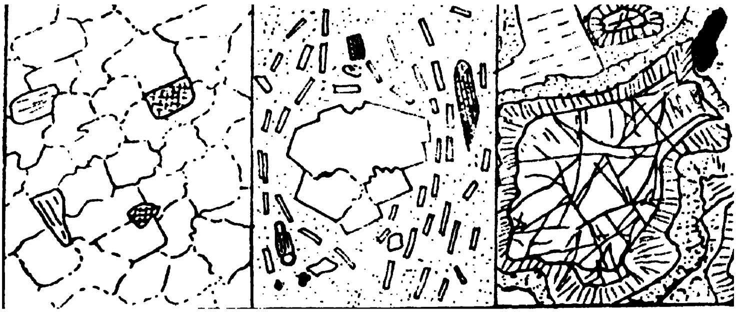
কেলাসের দানা তৈরী হবার সময় অন্য দানার সঙ্গে ছুঁয়ে না গেলে তবে ইউহেড্রাল দানা তৈরী হতে পারে। অন্যান্য কেলাসের দানার কাছাকাছি কেলাসিত হলে সব দানাগুলি পরস্পরের স্বাভাবিক বৃদ্ধিকে স্থানাভাবের জন্য বাধা দেয়, তার ফলে ক্রিস্টাল ফেস তৈরী না হয়ে কেলাসের দানা যে জায়গায় আছে তারই আকার ধারণ করে এবং এর ফলে এ্যানহেড্রাল দানা তৈরী হয়। কেলাসের আকারের বিবরণ অনুসারে কয়েকটি বিশেষ নাম দেওয়া যায়। যে কেলাসগুলি সবদিকেই সমান-ভাবে তৈরী হয় তাদের বলা হয় সমাকৃতিযুক্ত (equidimensional)। যে কেলাসগুলির দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা এই তিন দিকের মধ্যে যে কোনও দুই দিকে ভালভাবে বৃদ্ধিলাভ করে তাদের বলা হয় পীঠক আকার বা ট্যাবুলার tabular। এগুলি প্লেট, ট্যাবলেট, ফ্লেক্স্, স্কেল্স্ ইত্যাদি আকার তৈরী করে, যেমন মাইকা, ফেল্সপার। যে কেলাস তিনদিকের মধ্যে একদিকে খুব বেশী বৃদ্ধি পেয়েছে সেই দানাকে বলা হয় প্রিজমাটিক (prismatic)। এগুলি রড, প্রিজম ও সুচাকার দানা তৈরী করে। কেলাসের আরও অনেক আকার আছে, যেমন ছেঁড়া ছেঁড়া আকার, শিরার মত আকার এবং কেলাসের কঙ্কাল ; এগুলিকে বলা হয় অনিয়মিত বা ইর্রেগুলার (irregular)। quartz

felsite বা porphyry পাথরের কোয়ার্টজের দানার ক্ষয়ে যাওয়া (embayed) আকার একটি উদাহরণ।

কেলাসগুলির পরস্পরের মধ্যের সম্পর্ক :

কেলাসের আকার ছাড়াও তাদের তুলনামূলক পরিমাপ, দানাগুলির পরস্পরের সঙ্গে সীমার সম্পর্ক বা পাথরের মধ্যে কাঁচ থাকলে তার সঙ্গে কেলাসের কি রকম অবস্থান ইত্যাদি দিয়ে পাথরের ফ্যাব্রিক (fabric) নির্ধারিত হয়। তবে এই প্রসঙ্গে কেলাসের দানার সাইজ তেমন প্রয়োজনীয় নয়, কারণ একই রকম প্যাটার্ন ছোট দানার পাথর বা বড় দানার পাথরে থাকতে পারে।

টেক্সচার কয়েক প্রকার হতে পারে : (1) ইকুইগ্রানুলার, (equigranular), (2) ইন্‌ইকুইগ্রানুলার (inequigranular), (3) ডাইরেকটিভ্ (directive) ও (4) ইনটারগ্রোথ (intergrowth)।



A B C

চিত্র 34

চিত্র 34 A. সমদানা যুক্ত পাথর : হিপইডিওমরফিক গ্রথনযুক্ত প্লাগীওক্লেস ও হাইপারস্থিন, এনরথোসাইট পাথর। পুরী জেলা, উড়িষ্যা। × 20

চিত্র 34 B. অসমদানা যুক্ত পাথর : ফেলসপারের বড় কেলাস অর্থাৎ ফেনোক্রুস্ট যুক্ত পাথর পরফিরিটিক ট্রাকাইট। বায়োটাইটের ফেনোক্রুস্ট ও ভূমিতে ফেলসপারের ছোট কেলাসগুলি সমান্তরাল ভাবে থেকে পাথরের প্রবাহ রেখা নির্দেশ করে। বোম্বাই সহর। × 20.

চিত্র 34 C. রিএকসান রিম : চিত্রের কেন্দ্র স্থানে অলিভিনের চারদিকে ছটাকারে হাইপারস্থিনের রিএকসান রিম। প্লাগীওক্লেস ও অলিভিনের মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে সৃষ্টি হয়েছে। অলিভিন নরাইট পাথর। জগদীশপুর, সাঁওতাল পরগণা। (S. Roychaudhuri, 1973 অনুসারে)। × 20.

চিত্র 35 A. প্যানইডিওমরফিক গ্রথন : ইউহেড্রাল পাইরক্সিন, এ্যালকালী এমফিবোল (বার্কেভিকাইট) ও প্লাগাওক্লেস দানা যুক্ত ল্যাম্প্রোফায়ার (কাম্পটনাইট) পাথর। নিউ হাম্পশায়ার, যুক্তরাষ্ট্র। ×20

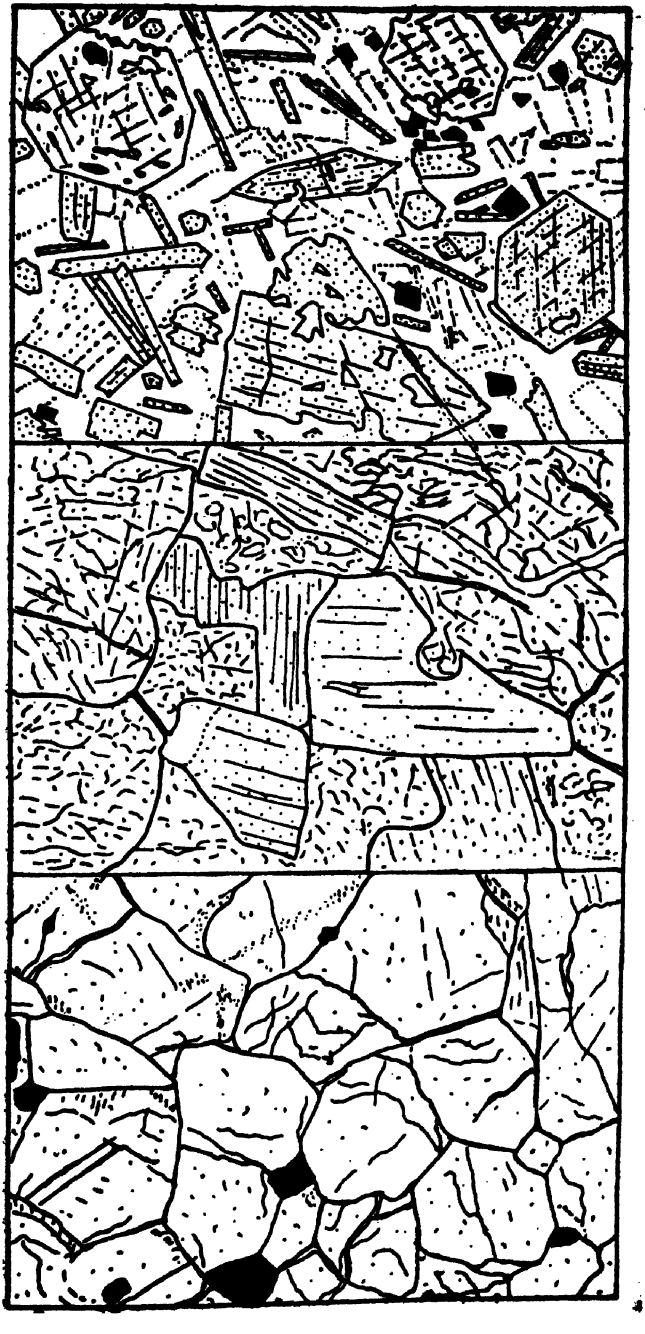
প্লাগীওক্লেশ ল্যাথ আকার, চিহ্নবিহীন। পাইরক্সিন ও এ্যালকালী এমফিবোল বৈশিষ্ট্যপূর্ণ ক্লিভেজযুক্ত

চিত্র 35 B. হিপইডিওমরফিক গ্রথন : সাবহেড্রাল অলিভিন (irregular fracture যুক্ত) ও এনটাটাইট (perfect cleavage যুক্ত) দানাযুক্ত পেরিডোটাইট পাথর। থেটফোর্ড, কুইবেক, কানাডা। (A. De, 1961 অনুসারে)। × 20

অলিভিন অনিয়মিত ফ্রাকচার ও ফুটকী চিহ্নযুক্ত। এনস্টাটাইট ক্লিভেজ ও ফুটকী চিহ্নযুক্ত।

চিত্র 35 C. এলোট্রিওমরফিক গ্রথন : এনহেড্রাল অলিভিন দানাযুক্ত ডানাইট পাথর। নর্থ ক্যারোলিনা, যুক্তরাষ্ট্র। (Ave Lallement, 1975 অনুসারে) ; ×20

অলিভিন ফ্রাকচার ও ফুটকী চিহ্নযুক্ত। ক্রোমাইট কালরংযুক্ত, অক্টাহেড্রাল।



A

B

C

চিত্র 35

সমদানাযুক্ত (equigranular) টেক্সচার :

পাথরের দানাগুলি সবই প্রায় সমান সাইজের হলে ইকুইগ্রানুলার বা সমদানা (equigranular) বিশিষ্ট টেক্সচার বলে (চিত্র 34A)। এর মধ্যে সব কেলাস এনহেড্রাল হলে এলোট্রিওমরফিক (allotriomorphic) টেক্সচার বলে ; যেমন থাকে এপ্‌লাইট পাথরে। গ্রানাইট, সায়ানাইট, ও অন্যান্য প্লুটোনিক পাথরে খনিজ দানাগুলি সাবহেড্রাল, এজন্য এদের টেক্সচার হিপইডিওমরফিক (hypidiomorphic)। যখন সব খনিজগুলি ইউহেড্রাল হয় তখন পাথরকে বলে প্যানইডিওমরফিক (panidiomorphic) টেক্সচারযুক্ত ; যেমন দেখা যায় ল্যামপ্রোফায়ার পাথরে। চিত্র 35A, B এবং C-তে সমদানাযুক্ত এই গ্রথনগুলি দেখান হয়েছে।

ফেলসপার-সমৃদ্ধ কোনও পাথরে, যেমন orthophyre-এ, orthoclase-এর ইউহেড্রাল দানাগুলি থাকায় এই টেক্সচারকে ortho-phyric বলে।

অসমদানা বিশিষ্ট (Inequigranular) টেক্সচার :

পাথরের দানাগুলি সহজেই অসমান বলে দেখা গেলে পাথরের টেক্সচারকে ইনইকুইগ্রানুলার টেক্সচার বলা হয়। এইরকম পাথরে যদি ছোট থেকে বড়, সব রকম পরিমাপের দানা থাকে তখন এই ফ্যাব্রিককে বলা হয় সিরিয়েট (Seriate)। তবে সাধারণতঃ পাথরে দু রকমের সাইজের দানাই প্রাধান্য পায় এবং এই দুই সাইজের মধ্যবর্তী সাইজের দানা খুব কম থাকে কিংবা অনুপস্থিত থাকতে পারে।

এই ধরণের দুই প্রকার টেক্সচার সাধারণতঃ দেখা যায়ঃ—(1) পরফিরিটিক (Porphyritic) টেক্সচার ও (2) পয়কিলিটিক (Poi-kilitic) টেক্সচার। **পরফিরিটিক টেক্সচারে** বড় বড় কেলাসগুলিকে বলা হয় ফেনোক্রস্ট (phenocryst) ; এই ফেনোক্রস্টগুলির চারধারে পাথরের মধ্যে যে স্থান বা 'জমি' (groundmass) আছে তা মাইক্রো-গ্রানুলার বা কাঁচযুক্ত হতে পারে। কাঁচযুক্ত হলে ভিট্রিও-ফায়ারিক (vitrophyric) টেক্সচার বলে। এই গ্রাউণ্ডমাস ক্রপ্টো-ক্রস্টালিন (cryptocrystalline) বা ফেলসাইটিক হলে ফেলসোফায়ারিক (felsophyric) বলে। ফেনোক্রস্টগুলি খুব বড় হলে খালি চোখে দেখা গেলে মেগাপরফিরিটিক (megaporphyritic) বলে ; আর খুব ছোট হলে এবং শুধু মাইক্রোস্কোপে দেখা গেলে মাইক্রোপরফিরিটিক (microporphyritic) বলা হয় (চিত্র 34 B)।

এই পরিফিরিটিক (porphyritic) টেক্সচার বেশ কয়েক রকম উপায়ে

তৈরী হতে পারে। কেলাসনের সময় কোনও ভৌত ও রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটলে এই রকম হতে পারে। এই ফেনোক্রস্টগুলি ভূগর্ভে গভীর অঞ্চলে ম্যাগমা থেকে কেলাসিত হয়; সেখানে উচ্চ চাপে ও ধীরে কেলাসন হওয়ায় বেশ বড় কেলাস তৈরী হতে পারে। তারপর ঐ বড় কেলাস সমেত ম্যাগমা যদি ভূগর্ভের অগভীর অঞ্চলে, কিংবা ভূপৃষ্ঠে হঠাৎ এসে পড়ে তাহলে পরফিরিটিক টেক্সচার তৈরী হয়। কারণ ঐভাবে চাপ কমে যায় ও ভলাটাইল (volatilc) উপাদানগুলি হ্রাস পায় এবং ভিসকোসিটি বাড়ে এবং তাড়াতাড়ি ঠান্ডা হওয়ার ফলে অসংখ্য ছোট কেলাস তৈরী হয়; এমনকি ম্যাগমা ঠান্ডা হয়ে কাঁচও তৈরী হতে পারে। এইভাবে আগে কেলাসিত ফেনোক্রস্টগুলির একটি সূক্ষ্ম দানা বিশিষ্ট গ্রাউন্ডমাস তৈরী হয়।

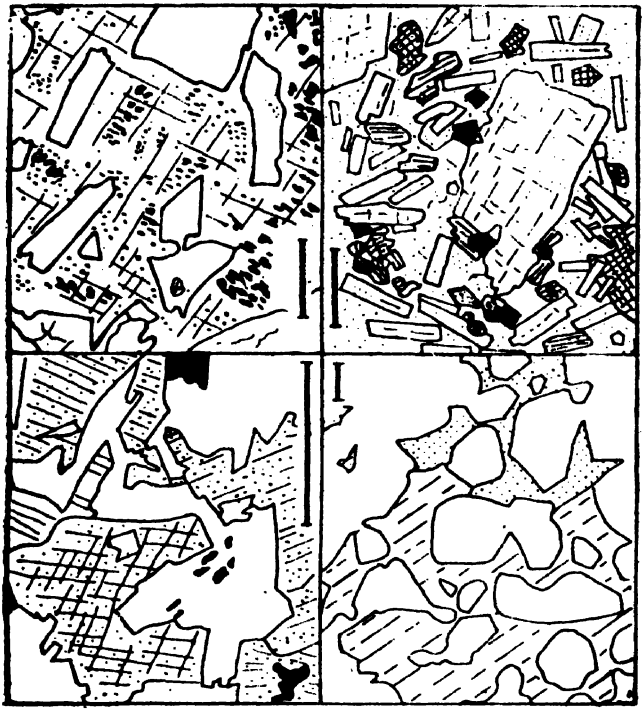
পরফিরিটিক টেক্সচার ভলকানিক ও হিপএবিস্যাল পাথরে খুব বেশী দেখা যায়। কোনও কোনও গ্রানাইট পাথরে এই রকম টেক্সচার দেখা যায়। কোনও ক্ষেত্রে এ্যালকালী ফেলস্পারের ফেনোক্রস্ট তৈরী হয়, যার ধারে ছোট ছোট কোয়ার্ট্জ বায়োটাইট ও প্লাগীয়ক্লেস কেলাস ঢুকে থাকে, এরকম ক্ষেত্রে এ্যালকালী-ফেলসপার ইউটেক্টিক্ অনুপাতের বেশী পরিমানে ম্যাগমায় ছিল।

পয়কিলিটিক (Poikilitic) টেক্সচার ঃ

যখন বড় কেলাসগুলি অনেক ছোট কেলাসকে চারদিকে ঘিরে থাকে বা cnclose করে তাহলে পয়কিলিটিক টেক্সচার বলে। একটা টেক্সচার প্যাটার্ণ যাতে ভাল ভাবে বুঝা যায় সেজন্য এই কেলাসগুলি বেশ কিছু পরিমাণে পাথরে থাকা দরকার। ছোট এপাটাইট বা জারকণ দানা অন্য কোনও খনিজের কেলাসের মধ্যে থাকলে তাকে পয়কিলিটিক বলা হয় না কারণ এগুলি আনুষঙ্গিক একএসেসরী (accessory) খনিজ হওয়ায় অত্যন্ত কম পরিমাণে থাকে।

পয়কিলিটিক (Poikilitic) টেক্সচারের উৎপত্তি কিভাবে হয় তা নিঃসন্দেহে নির্ধারণ করা কঠিন। একটি খনিজের উপাদান অপরগুলির চেয়ে বেশী পরিমাণে ম্যাগমায় থাকলে এবং তার কেলাসন যদি দেরীতে হয়েও বড় কেলাস তৈরী করতে পারে তাহলে পয়কিলিটিক (Poikilitic) টেক্সচার তৈরী হয়। যে সব উপাদান কম আছে তাদের কেলাসন হয়ে যাওয়ায় ভলাটাইল উপাদান ম্যাগমাতে সঞ্চিত হয়ে প্রাধান্যলাভ করে তার ফলে পরবর্তী খনিজের বেশ বড় কেলাস তৈরী হতে পারে। এই টেক্সচার পেরিডোটাইট ও পিকরাইট পাথরে পাওয়া যায়; এইসব পাথরের মধ্যে পাইরক্সিন ও হর্ণব্লেন্ড বড় কেলাস

A C



B D

চিত্র 36

চিত্র 36A. অফিটিক গ্রথন ; হাইপারস্থিনের বড় কেলাসের মধ্যে ছোট ছোট আয়রণ ওর ইনক্লুশান Schiller structure তৈরী করেছে। হাইপারস্থিনের ঐ বড় কেলাসের মধ্যে প্লাগীওক্লেসের ইউহেড্রাল ছোট কেলাস সম্পূর্ণভাবে আবদ্ধ আছে ও এই ভাবে অফিটিক গ্রথন তৈরী করেছে। এনস্থোসাইটিক নরাইট পাথর. ত্রিচীনো পাল্লী জেলার কাডাভুর থেকে। (A. P. Subramaniam, 1956 অনুসারে)।

চিত্র 36 B. সাবঅফিটিক গ্রথন : আগাইটের কেলাসগুলির মধ্যে মধ্যে প্লাগাওক্লেসের লাথ আকারের দানা আংশিক ভাবে আবদ্ধ থাকায় সাবঅফিটিক গ্রথন তৈরী করেছে। চাঁদের ডলেরাইট জাতীয় পাথর (Apollo 11 Lunar Rock 100047)

চিত্র 36 C. পরফিরিটিক গ্রথন : লাব্রাডোরাইটের বড় ফেনোক্রস্ট রয়েছে পাথরের ভূমিতে (groundmass) ছোট লাব্রাডোরাইটের কেলাস, এ্যালকালী ফেলস্পার ও পাইরক্সিন কেলাসের মধ্যে। মনজোনাইট পাথর, মিলটন্ ল্যাকোলিথ, অষ্ট্রেলিয়া। (G. Joplin. 1968 অনুসারে)।

চিত্র 36 D. পয়কিলিটিক গ্রথন : বড় অগাইট (চিত্রে সমান্তরাল চিহ্ন) ও বড় প্লাগাওক্লেস (চিত্রে ফুটকী চিহ্ন) কেলাসের মধ্যে ইউহেড্রাল অলিভিন কেলাস (চিত্রে সাদা) সম্পূর্ণ আবদ্ধ থে'ক পয়কিলিটিক গ্রথন তৈরী করেছে। অলিভিন গ্যাব্রো পাথর। স্কেয়ারগার্ড ইনট্রুসান, গ্রীনল্যাণ্ড। (L. R. Wager & G. M. Brown, 1967 অনুসারে)

(36 A.B.C এবং D সমস্ত ছবিতে মোটা দাঁড়ি চিহ্ন I মিঃ মিঃ নির্দেশ করে)।

অয়কোক্রস্ট (oikocryst) তৈরী করে, এর মধ্যে অলিভিনের দানা থাকে অতিথি দানা বা চ্যাডাক্রস্ট (chadacryst) হিসাবে। ডায়োরাইট পাথরে হর্ণব্লেণ্ডের বড় কেলাসের মধ্যে প্লাগীওক্লেসের ছোট ছোট কেলাস পয়কিলিটিক টেক্সচার তৈরী করে (চিত্র 3)।

অফিটিক (ophitic) টেক্সচার :

পয়কিলিটিক টেক্সচারের একটি বিশেষ রূপ হল অফিটিক (ophitic) টেক্সচার। এই টেক্সচারে বড় অগাইটের প্লেটের মধ্যে ছোট

A B C

চিত্র 37

চিত্র 37 A. ইণ্টারসারটাল গ্রথন : প্লাগীওক্লেসের ল্যাথ আকারের কেলাসের দানার ফাঁকে ফাঁকে রং-হীন কাঁচ থাকায় এই গ্রথন তৈরী হয়েছে। ডেকান ট্রাপ ব্যাসল্ট্, ছিন্দওয়ারা, মধ্য প্রদেশ।

চিত্র 37 B. ইণ্টার গ্রানুলার গ্রথন : প্লাগীওক্লেসের ল্যাথ আকারের কেলাসের দানার ফাঁকে ফাঁকে অগাইটের গুড়ার মত দানা ও আয়রণ ওর দানা থাকায় এই গ্রথন তৈরী হয়েছে। ডেকান ট্রাপ ব্যাসল্ট্, ছিন্দওয়ারা, মধ্য প্রদেশ।

চিত্র 37 C ফেরুলিটিক গ্রথন : এ্যালকালী ফেলস্পারের ছটাকারে বিন্যস্ত কেলাসগুলি পূর্বে কেলাসিত প্লাগীওক্লেস দানাকে ঘিরে একটি ফেরুলিটিক গঠন তৈরী করেছে। গ্রাউণ্ড মাসে আছে এ্যালকালী ফেলস্পার ও কোয়ার্টজের অতি সূক্ষ্ম দানা, ফেলসাইট পাথর, বরদা হিলস্ সৌরাষ্ট্র। (A De & D. P. Bhattacharyya, 1971 অনুসারে) (চিত্র 37 : ×25)

ছোট প্লাগীওক্লেসের ল্যাথ্ সম্পূর্ণ ঘেরা থাকে (চিত্র 36A) এই টেক্সচার ডলেরাইট পাথরে দেখা যায়।

বেশ বড় কেলাস তৈরী হলে প্লাগীওক্লেস যদি অগাইটের মত বড় হয় তাহলে অগাইট প্লাগীওক্লেসকে কেবল আংশিকভাবে ঘিরে থাকে, তাই এই টেক্সচারকে বলা হয় সাব-অফিটিক (Sub-ophitic) (চিত্র 36B)।

ইণ্টারসারটাল (Intersertal) ও **ইণ্টারগ্রানুলার** (Intergranular) **টেক্সচার :**

ব্যাসল্ট্ পাথরে প্লাগীওক্লেসের ল্যাথগুলি নানা দিকে লম্বা হয়ে ছড়িয়ে থাকার ফলে তাদের ফাঁকে ফাঁকে তিন কোণ বা বহুকোণ বিশিষ্ট অন্তর্বর্তীস্থান থাকে, এবং অগাইট অলিভিন ও আয়রন অক্সাইডের গুড়ার মত (granules) কেলাসগুলি এই অন্তবর্তী স্থান পূরণ করে। এই টেক্সচারকে বলে ইণ্টারগ্রানুলার। অনেকক্ষেত্রেই অন্তবর্তী স্থানে শুধু কাঁচ অথবা ক্রপ্টোক্রস্টালিন খনিজ উপাদান, কিংবা খুব ছোট দানায় ক্লোরাইট বা সারপেণ্টিন থাকে, তখন টেক্সচারকে বলে ইণ্টারসারটাল (intersertal)। (চিত্র 4 এবং 37)।

ডাইরেক্টিভ্ (Directive) **টেক্সচার :**

ম্যাগমা গতিশীল থাকা অবস্থায় কেলাসনের জন্য যেসব টেক্সচার তৈরী হয় তাদের বলা হয় ডাইরেক্টিভ্ টেক্সচার। পাথরের মধ্যে ক্রস্টালাইট, মাইক্রোলাইট্ এবং অন্যান্য কেলাসগুলি ম্যাগমার গতিশীল অবস্থার জন্য প্রবাহের দিকের সঙ্গে সমান্তরাল অবস্থায় আসে এবং এগুলি এইভাবে ম্যাগমার প্রবাহ রেখা (Stream line) অনুসরণ করে।

ফেলস্পারযুক্ত লাভা, যেমন ট্রাকাইট্, এ্যাণ্ডেসাইট্ ও ফোনোলাইট পাথরে অনেক সময় ফেলস্পারের ল্যাথগুলি প্রবাহের জন্য সমান্তরাল-ভাবে থাকে। একে বলা হয় ট্রাকাইটিক (trachytic) টেক্সচার (চিত্র 34B)। এই রকম টেক্সচারে যখন কাঁচ ও ফেলস্পার ল্যাথ একসঙ্গে থাকে তখন টেক্সচারকে বলা হয় হায়ালোপিলিটিক hyalopilitic। কোনও কোনও গ্রানাইটে হর্ণব্লেণ্ড বা মাইকার লম্বা কেলাসগুলি কোনও একদিকে সমান্তরালভাবে থেকে ম্যাগমার প্রবাহের দিক নির্দেশ করে।

কেলাসের পরস্পর-অন্তবর্তী বৃদ্ধির জন্য (Intergrowth) **টেক্সচার :**

কোয়ার্টজ ও ফেলসপারের ইউটেকটিক্ কেলাসন হলে পরস্পর—অন্তবর্তী কেলাস তৈরী করে। এই রকম কেলাসের প্রত্যেকটি ছাড়া ছাড়াভাবে অন্যটির সঙ্গে সংশ্লিষ্ট থাকলেও মাইক্রোস্কোপে একইসঙ্গে extinction হওয়ায় বোঝা যায় যে ছাড়া ছাড়া অংশগুলির অপ্টিক্যাল ওরিয়েণ্টেসান একই। অন্য খনিজের সঙ্গে কোয়ার্টজের অন্তবর্তী কেলাসগুলি ত্রিকোণ আকার (60° কোণযুক্ত) বা ঐ ধরনের ছোট ছোট এলাকা তৈরী করে গ্রাফিক (graphic) টেক্সচার তৈরী করে। (চিত্র 6) এই রকম টেক্সচার মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে দেখা গেলে তাকে বলা হয় মাইক্রোগ্রাফিক (micrographic) এবং ঐ পাথরকে বলা হয় মাইক্রো-

আগ্নেয় পাথরের শ্রেণীবিভাগ

অবস্থান	বৈশিষ্ট্য	গঠন	সিলিকা অতিসম্পৃক্ত (এ্যাসিড পাথর)				সিলিকা সম্পৃক্ত		সিলিকা অসম্পৃক্ত (বেসিক পাথর)	(ক্ষারীয় পাথর)		(অতি বেসিক পাথর)
[illegible]	নিঃসারী	কাচিক	পীচ স্টোন, অবসিডিয়ান						ট্যাকিলাইট			
		এ্যাফানিটিক্	রায়োলাইট	রায়োডেসাইট	ডেসাইট		ট্রাকাইট, এ্যাণ্ডেসাইট, ট্রাকি এ্যাণ্ডেসাইট		ব্যাসল্ট	ফোনোলাইট	লিউসিটাইট, নেফিলিনাইট, নেফিলিন ব্যাসল্ট, লিউসাইট ব্যাসল্ট	পিকরাইট, লিমবার্গাইট
[illegible]	ছোট উদ্বেধী (হিপ-এ্যাবিসাল ডাইক ও সিল)	পরফিরিটিক্	ফেলসাইট, গ্রানোফায়ার						ডলেরাইট	টিসভাইট		
			গ্রানাইট পরফিরি	কোয়ার্টজ-মনজোনাইট পরফিরি	গ্রানোডায়োরাইট পরফিরি	টোনালাইট পরফিরি	সায়ানাইট পরফিরি	ডায়োরাইট পরফিরি	গ্যাব্রো পরফিরি	লিউসাইট পরফিরি, নেফিলিন পরফিরি		
		পেগমাটাইটিক্ এপলাইটিক্ প্যানইডিওমরফিক্	গ্রানাইট পেগমাটাইট, এপলাইট				ল্যাম্প্রোফায়ার					
	বড় উদ্বেধী	গ্রানুলার	গ্রানাইট	এডামেলাইট	গ্রানোডায়োরাইট	টোনালাইট	সায়ানাইট, ডায়োরাইট, মনজোনাইট		গ্যাব্রো, এনরথোসাইট	নেফিলিন সায়ানাইট	আইজোলাইট	পাইরক্সিনাইট, পেরিডোটাইট, ডানাইট
		অত্যাবশ্যক খনিজ	কোয়ার্টজ থাকে				কোয়ার্টজ থাকে না					
			অর.> প্লাগ	অর = প্লাগ	প্লাগ > অর	প্রধানত: সোডিক প্লাগ	অর্থোক্লেস	প্রধানত: সোডিক-প্লাগ	প্রধানত: ক্যালসিক প্লাগ	ফেলসপ্যাথয়েড, লিউসাইট, নেফিলিন		
		বিশিষ্ট খনিজ	মাসকো, বায়ো, হর্ণ	মাসকো, বায়ো, হর্ণ, পাইরক্সিন	বায়ো, হর্ণ, পাইরক্সিন	বায়ো, হর্ণ, পাইরক্সিন	পাইরক্সিন, হর্ণ বায়ো	পাইরক্সিন, হর্ণ, বায়ো	হর্ণ, পাইরক্সিন, অলিভিন	অর্থোক্লেস এলবাইট	এ্যালকালী পাইরক্সিন	অলিভিন পাইরক্সিন হর্ণব্লেণ্ড

অর=পটাশ ফেলসপার ; প্লাগ=প্লাগীওক্লেস ; মাসকো=মাসকোভাইট ; বায়ো=বায়োটাইট ; হর্ণ=হর্ণব্লেণ্ড

পেগম্যাটাইট (micropegmatite)। যখন কোয়ার্টজের প্যাচ্ অথবা ব্লেব ফেলসপারের মধ্যে দেখা যায় তখন টেক্সচারকে বলে গ্রানোফায়ারিক্ (granophyric)। দানার মাপ ছোট হলে কোয়ার্টজের ছোট ছোট অংশগুলি রেডিয়েটিং অর্থাৎ এককেন্দ্রিক প্যাটার্নে ফেলসপারের মধ্যে সজ্জিত থাকে; এই প্যাটার্ন রায়োলাইটে অথবা ফেলসাইটে আরও ছোট হতে পারে, তখন কোয়ার্টজ এবং ফেলসপারের কেলাস সূক্ষ্ম লম্বা ফাইবারের মত থেকে স্ফেরুলিটিক (spherulitic) অর্থাৎ গোলক আকার স্ট্রাকচার তৈরী করতে পারে (চিত্র 37C)।

পার্থাইটিক গঠন (perthitic structure) :

কোনও কোনও ইণ্টারগ্রোথ এক্সসলিউশান (exsolution) হওয়ার জন্য তৈরী হতে পারে। ম্যাগমা থেকে কেলাসনের সময় এ্যালকালী ফেলসপারে এলবাইট ও অর্থোক্লেস মলিকিউল যে কোনও অনুপাতে মিশ্রিত হয়ে কেলাসদ্রবণ তৈরী করতে পারে। কিন্তু অতঃপর তাপাঙ্ক কমে গেলে অর্থোক্লেস শুধু অল্প পরিমাণে এলবাইট মলিকিউল কেলাস দ্রবণের মধ্যে রাখতে পারে, যেমন $Or_{85}Ab_{15}$। এই কারণে উক্ত পরিমাণের অতিরিক্ত এলবাইট অণু কেলাসদ্রবণের মধ্যে থেকে পার্থাইটের আকারে বার হয়ে আসে, এই প্রক্রিয়াকে বলা হয় এক্সসলিউসান (exsolution)। তখন এলবাইটের ছোট ছোট পাতলা অংশ, যাকে বলা হয় লামেলা (lamella), অর্থোক্লেসের মধ্যে থাকতে পারে (চিত্র 7)। এইভাবে exsolution intergrowth তৈরী হয়। কেলাসের এই পরিবর্তন সম্পূর্ণ কঠিন অবস্থায় ও নিম্ন তাপাঙ্কে তৈরী হয়। পরমাণুগুলি কেলাসের গঠনের মধ্যে স্থান বিনিময় করে এবং কেলাসের এই পরিবর্তন সম্ভব করে। মাইক্রোস্কোপের মধ্যে দিয়ে পার্থাইটের লামেলিগুলি সূতা (string) পুঁতি (bead) ও রড (rod) বা দন্তের (tooth) মত আকার দেখায়। কেলাসনের জন্যও কোন কোন পার্থাইটের উৎপত্তি হতে পারে। Exsolution ছাড়া প্রতিস্থাপন (replacement) এবং ইউটেকটিক কেলাসনের জন্যও কোন কোন পার্থাইটের উৎপত্তি হতে পারে।

বিক্রিয়াজাত (Reaction) **স্ট্রাকচার** :

অনেক ক্ষেত্রে ম্যাগমার সঙ্গে পূর্ব কেলাসিত খনিজের রিএকসান রিলেসান যে থাকে তা N. L. Bowen বেশ ভাল ভাবে দেখিয়েছেন। পূর্ব কেলাসিত খনিজ এই রকম রিএকসানের জন্য সম্পূর্ণ লোপ পেয়ে যেতে পারে এবং নতুন তৈরী হতে পারে। যদি রিএকসান সম্পূর্ণ না হয় তাহলে কিন্তু পূর্বকেলাসিত খনিজ কিছুটা রিএকসান হওয়ার পরে ক্ষয়ে যাওয়া অবস্থায় থেকে যেতে পারে এবং ম্যাগমার সঙ্গে

রিএকসান হয়ে তার চার ধারে নূতন খনিজের একটা আস্তরণ তৈরী হয়। এই গ্রথন ঐ পাথরের টেক্সচার থেকে ভিন্ন হওয়ায় এইটিকে রিএকসান স্ট্রাকচার বলা হয়। পূর্বকেলাসিত খনিজের চারধারে রিএকসান হয়ে তৈরী হওয়া আস্তরণ বা zone-কে বলা হয় রিএকসান রিম্ (reaction rim) (চিত্র—34C)। ম্যাগমার প্রাথমিক রিএকসানের জন্য যে রিএকসান রিম্ তৈরী হয় তাকে অনেক সময় বলে করোনা (Corona)। এইরকম রিম্ পোস্টম্যাগমাটিক স্টেজে অথবা পাথরের রূপান্তরের (বা মেটামরফিজমের) সময় তৈরী হলে অনেক ক্ষেত্রে কেলিফাইটিক্ বর্ডার (kelyphitic border) নাম দেওয়া হয়।

ম্যাগমার মধ্যে বাহিরের খনিজদানা (xenocryst) এসে গেলে তাদের চারধারে রিএকসান হয়। যেমন ব্যাসল্ট্ ম্যাগমার মধ্যে স্থানীয় পাথরের টুকরো কোয়ার্টজ জেনোক্রস্ট এসে গেলে পাইরক্সিন গ্রানিউলের একটি রিম সৃষ্টি হয়।

এছাড়াও অনেক ক্ষেত্রে পাশাপাশি সংলগ্ন খনিজদানাগুলির মধ্যে কঠিন অবস্থায় রিএকসান হয়ে এই রকম রিএকসান রিম্ তৈরী হতে পারে। এই রকম ক্ষেত্রে অনেক সময় খনিজগুলির পরস্পরের মধ্যে রিএকসান হওয়াতে পাথরের মধ্যস্থ ফ্লুইড সাহায্য করে।

এইসব উপায়ে রিএকসানের জন্য যে খনিজ দানার সমাবেশ ঘটে তাদের J. J. Sederholm বলেছেন Synantetic minerals.

Corona স্ট্রাকচারে আগে কেলাসিত খনিজ যেমন অলিভিনের চারধারে রিএকসান হয়ে অর্থোপাইরক্সিনের এক বা তার বেশী জোন (zone) গঠিত হতে পারে। অনেকক্ষেত্রে দুই বা তার বেশী বিভিন্ন খনিজ এই রকম জোন তৈরী করতে পারে। এই জোনগুলিতে খনিজগুলি গ্রানুলার হতে পারে অথবা ছটাকার ফাইব্রাস্ (fibrous) হতে পারে।

ষষ্ঠ অধ্যায়

খনিজ এবং গঠন অনুসারে আগ্নেয় পাথরের শ্রেণী বিভাগ ও বিবরণ

হাতে পাথরের নমুনা দেখে বা অনুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে দেখে আগ্নেয়-পাথরের যে শ্রেণী বিভাগ করা যায় তার বিশেষ প্রয়োজনীয়তা আছে। এই শ্রেণী বিভাগের ছক এখানে দেওয়া হল।

প্রথমে পাথরের সৃষ্টি হওয়ার সময় যে সব পাথর নিঃসারী (extrusive) বা ভূ-পৃষ্ঠের খুব নিকটে কঠিন হয়েছে তাদের এই ছকে সবচেয়ে উপরের সারিতে স্থান দেওয়া হয়েছে—এইগুলি ভলকানিক (volcanic) পাথর। এই পাথরে গ্রথন খুব সূক্ষ্মদানাযুক্ত, এজন্য খালি চোখে দানা দেখা যায় না (এফানিটিক), অথবা এরা কাঁচযুক্ত। ভূগর্ভে যে আগ্নেয় পাথর তৈরী হয়েছে সেই পাথরগুলি প্লুটনিক, এই শ্রেণীর পাথর ছোট উদবেধী, ডাইক অথবা সিল আকারে থাকলে তাদের হিপএবিসাল (hypabyssal) বলা যায়। H. Williams, F. J. Turner ও C. M. Gilbert (1955) এই মত প্রকাশ করেছেন যে হিপএবিসাল পাথর প্লুটনিক পাথরের সঙ্গে অথবা ভলকানিক পাথরের সঙ্গে নিকট সম্পর্কযুক্ত থাকে, এজন্য এই শ্রেণীর পাথরকে সম্পূর্ণ আলাদা একটি শ্রেণীতে ভাগ করা উচিত নয়। এই ধরণের পাথরে পরফিরিটিক গ্রথন দেখা যায়।

পেগেমাটাইট বা এপলাইট জাতীয় পাথরে দানার মাপ বিশেষ গুরুত্ব-পূর্ণ। পেগমাটাইটে বড় দানা থাকে এপলাইটে চিনির মত ছোট ছোট দানা থাকে এবং এরা প্লুটনিক পাথর। গ্রানাইট, এডামেলাইট গ্রানোডায়োরাইট, টোনালাইট প্লুটনিক পাথর এদের গ্রথন গ্রানুলার।

পাথরের মুখ্য খনিজ (essential minerals) ও বৈশিষ্ট্যপূর্ণ খনিজ (characteristic minerals) চেনা প্রয়োজন। প্রধানতঃ কোয়ার্টজ আছে কিনা এই স্থির করা গেলে পাথরকে দুই ভাগে ভাগ করা যায়। শতকরা 10 ভাগের কম কোয়ার্টজ থাকলে সেই পাথরকে কোয়ার্টজ বিহীন পাথরগুলির মধ্যে ধরা হয়। আলট্রামাফিক ছাড়া অন্য সব পাথরে ফেলসপার পাওয়া যায়; এর মধ্যে এ্যালকালী ফেলসপার ও প্লাগীওক্লেস দুইই থাকলে তাদের অনুপাত বিচার করে পাথরগুলিকে তিন শ্রেণীতে ভাগ করা যায়। এ্যালকালী ফেলসপার —মাইক্রোক্লীন, অর্থোক্লেস অথবা সানিডিন হতে পারে; প্লাগীও-

ক্লেস ফেলসপার কোয়ার্টজযুক্ত পাথরে সোডিক (sodic) হয়। এ্যালকালী ফেলসপার অনুপাতে বেশী থাকলে গ্রানাইট, প্লাগীওক্লেসের সমান সমান থাকলে গ্রানাইটকে এডামেলাইট ও কম অনুপাতে থাকলে গ্রানো-ডায়োরাইট পাথর হতে পারে। প্রধান বৈশিষ্ট্যপূর্ণ খনিজ যেমন বায়োটাইট, হর্ণব্লেন্ড, পাইরক্সিন ইত্যাদি দ্বারা আরও সঠিক নামকরণ করা যায়, যেমন বায়োটাইট গ্রানাইট, হর্ণব্লেন্ড গ্রানোডায়োরাইট ইত্যাদি।

কোয়ার্টজ যে পাথরে থাকে না তার মধ্যে সায়ানাইট পাথরে এ্যালকালী ফেলসপার ও ডায়োরাইট জাতীয় পাথরে সোডিক (sodic) প্লাগীওক্লেস থাকে। এদের তুল্য ভলকানিক পাথর হচ্ছে ট্রাকাইট ও এ্যান্ডেসাইট। এইগুলি Intermediate group এর পাথর। ক্যালসিক (calcic) প্লাগীওক্লেস থাকলে গ্যাব্রো পাথর হতে পারে, তবে পাই-রক্সিন একটি অত্যাবশ্যক খনিজ। পাইরক্সিন না থাকলে সেই পাথরকে এনরথোসাইট বলে। এইগুলি ম্যাফিক পাথর। ফেলসপ্যাথয়েড, ফেলসপারযুক্ত পাথরগুলি এ্যালকালীক (Alkalic) পাথর। এদের মধ্যে কোয়ার্টজ কখনও থাকে না। নেফিলিন সায়ানাইট, ফোনোলাইট এই জাতীয় পাথর। পাইরক্সিন অত্যাবশ্যক খনিজ হলে Ijolite পাথর হয়। আল্ট্রাবেসিক আল্ট্রাম্যাফিক পাথরগুলির মধ্যে পিকরাইট, লিমবার্গাইট ডানাইট ও পেরিডোটাইট আছে। এইগুলি ফেলসপার ও কোয়ার্টজ বিহীন পাথর।

ল্যাম্প্রোফায়ার জাতীয় পাথরগুলির খনিজ সমাবেশ খুব বিভিন্নতা দেখাতে পারে। এদের ম্যাফিক খনিজ বায়োটাইট থেকে অলিভিন পর্যন্ত থাকতে পারে এবং ফেলসিক খনিজ এ্যালকালী ফেলসপার থেকে নেফিলিন পর্যন্ত হতে পারে। এদের টেক্সচার প্যানইডিওমর্ফিক।

ব্যাসল্ট্ (Basalt)

বেসিক আগ্নেয়পাথরের মধ্যে ব্যাসল্ট্ পাথর প্রথমে আলোচনা করা দরকার। এই পাথর বিস্তৃত এলাকায় উৎগীরিত লাভা আকারে থাকে অথবা ছোট উদবেধী অবয়ব তৈরী করে। ব্যাসল্ট্ গভীর রং-এর ভারী পাথর এবং কেলাসগুলি সাধারণতঃ খালি চোখে দেখাই যায় না (অর্থাৎ এরা aphanitic) তবে ফেনোক্রস্ট থাকলে সহজে চেনা যায়। ব্যাসল্ট্ ভেসিকুলার হতে পারে, তখন তার উপর ছোট ছোট খালি গোলক আকার গর্ত দেখা যায়। ঐ গর্তগুলি অর্থাৎ ভেসিক্‌লগুলি নানা রকম খনিজ, যেমন কোয়ার্টজ, ক্যাল্‌সাইট, জিওলাইট্ (zeolite) দ্বারা ভর্তি থাকলে এই পাথরকে বলে এমিগ্‌ডালয়ডাল (amyg-daloidal) ব্যাসল্ট্।

ব্যাসল্ট্ পাথর প্রধানতঃ দুই শ্রেণীর:—(1) থোলিয়াইট্ ব্যাসল্ট্ (tholeiite) ও (2) এ্যালকালী অলিভিন ব্যাসল্ট্ (alkali-olivine-basalt)।

(1) **থোলিয়াইট ব্যাসল্ট্:** রাসায়নিক বিশ্লেষণ থেকে জানা যায় যে থোলিয়াইটিক ব্যাসল্ট্ সিলিকাতে অতিসম্পৃক্ত। রাসায়নিক বিশ্লেষণ থেকে নর্‌ম্ হিসাব (norm calculation) করলে থোলিয়াইটিক্ ব্যাসল্ট্ পাথরে কোয়ার্টজ আছে দেখা যায়। ঐ পাথরে কোনও কোনও ক্ষেত্রে অনুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে কোয়ার্টজ ও এ্যালকালী ফেলস্‌পার দেখা যায়।

থোলিয়াইটিক ব্যাসল্ট্ বেশ সচরাচর পাওয়া যায়। মধ্য ও পশ্চিম ভারতের Deccan Traps এই রকম থোলিয়াইট জাতীয় ব্যাসল্ট্; ভারতের সমগ্র এলাকার প্রায় 1/6 ভাগ, অর্থাৎ 2 লক্ষ বর্গমাইল জুড়ে এইরকম ব্যাসল্টের অসংখ্য প্রবাহ গড়ে প্রায় 200 ফুট উচ্চ দাক্ষিণাত্যের মালভূমি তৈরী করেছে। (চিত্র—40)। পশ্চিমবাংলার বীরভূম জেলার ও বিহারের পূর্ণিয়া জেলার Rajmahal Trap ব্যাসল্ট্ জুরাসিক যুগের থোলিয়াইট জাতীয় লাভা প্রবাহ দিয়ে গঠিত। পৃথিবীর অন্য দেশের বিখ্যাত ব্যাসল্ট্ এলাকাগুলির মধ্যে উল্লেখযোগ্য হল উত্তর আমেরিকার Columbia River basalt.

ব্যাসল্ট্ ম্যাগমার উদবেধী হিপএবিস্যাল পাথর হল ডলেরাইট। দক্ষিণ আফ্রিকায়, অস্ট্রেলিয়ার টাসম্যানিয়া দ্বীপে ও আন্টার্কটিকাতে মেসোজোয়িক থেকে টারশিয়ারী যুগে ডলোরাইট উদবেধী বহু ডাইক ও সিল পাওয়া যায়। ভারতবর্ষের ডেকান্ ট্রাপ এলাকাতে বহু ডলেরাইট ডাইক ও সিল দেখা যায়।

থোলিয়াইটে অল্প অলিভিন থাকতে পারে। ব্যাসল্ট ছোটদানা যুক্ত এবং হলোক্রিস্টালিন পাথর। তবে কোনও কোনও ক্ষেত্রে কাঁচ পাথরের দানার জমিতে থাকে এবং বিরল ক্ষেত্রে, যেমন ডাইকের ধারে লাভা হঠাৎ ঠাণ্ডা হয়ে গিয়ে, সম্পূর্ণ কাঁচযুক্ত পাথর tachylite তৈরী করে।

প্লাগীওক্লেস, অলিভিন ও অগাইট্ সাধারণতঃ ফেনোক্রিস্ট্ তৈরী করে। প্লাগীওক্লেস দানাগুলি জোন যুক্ত হতে পারে। কেলাসের মাঝের জোনগুলি এনরথাইট—সমৃদ্ধ এবং ধারের জোনে এনরথাইট অণু কম থাকলে তাকে নরম্যাল জোনিং (normal zoning) বলে। যদি জোনগুলির উপাদানে খুব বেশী পার্থক্য দেখা যায়—যেমন এনরথাইট—সমৃদ্ধ মধ্যের জোন, পরের জোনে এনরথাইট্ কিছু পরিমাণ কম এবং

তার বাইরের জোন আবার এনরথাইট্ সমৃদ্ধ—এই রকম থাকলে (Oscillatory Zoning) বলা হয়। থোলিয়াইটিক ব্যাসল্টের অলিভিন ও অগাইটে জোন দেখা যায় না। টাইটানো ম্যাগনেটাইট্, ইলমেনাইট হোল আনুষঙ্গিক (accessory) খনিজ, এ ছাড়া কাঁচ পরিবর্তিত হয়ে palagonite, এবং অলিভিন পরিবর্তিত হয়ে iddingsite খনিজ তৈরী করে। ডেকান ট্রাপ ব্যাসল্টের গ্রথন চিত্র 4, 5, 37A এবং 37B-তে দেখান হয়েছে।

পাথরের দানার জমিতে যে প্লাগীওক্লেস থাকে সেগুলি বেশ ছোট ও তাদের উপাদানে এনরথাইট অণুর শতকরা ভাগ ফেনোক্রুস্টের উপাদানের তুলনায় কম থাকে। গ্রাউন্ডমাসের প্লাগীওক্লেসের লম্বা কেলাস (lath) নানা দিকে বিন্যস্ত হয়ে থাকে এবং তাদের ফাঁকে ফাঁকে পাইরক্সিনের গুড়া আকারের দানাগুলি থাকলে এই রকম গ্রথনকে intergranular texture বলে। যদি এই প্লাগীওক্লেস ল্যাথগুলির ফাঁকে ফাঁকে কাঁচ থাকে তবে এই গ্রথনকে intersertal texture বলে। লাভা গতিশীল থাকার সময় প্লাগীওক্লেস ল্যাথগুলি সমান্তরাল ভাবে লম্বা হয়ে থাকলে ফ্লো স্ট্রাকচার দেখা যায়। কোনও কোনও ক্ষেত্রে ব্যাসল্টের দানার জমিতে দানার ফাঁকে ফাঁকে কোয়ার্টজ ও এ্যালকালী ফেল্‌সপার থাকে; এইগুলিকে acid residuum বলা হয়, কারণ N. L. Bowen-এর Reaction series-এর তলারদিকে এই খনিজগুলি অবস্থিত।

(2) **এ্যালকালী—অলিভিন ব্যাসল্ট্ঃ**

এই শ্রেণীর ব্যাসল্টের মধ্যে অলিভিন, প্লাগীওক্লেস ও পাইরক্সিন থাকে এবং ঐ খনিজগুলি ফেনোক্রুস্ট হিসাবে, ও গ্রাউন্ডমাসে ছোট দানার আকারে থাকতে পারে। ফেনোক্রুস্টগুলি বেশী জোনযুক্ত হতে পারে। অলিভিন ও পাইরক্সিনে জোনিং থাকাই এ্যালকালী-অলিভিন ব্যাসল্টের একটি বৈশিষ্ট্য। এই পাথরে টাইটানোম্যাগনেটাইট থাকে। এ্যালকালী—অলিভিন ব্যাসল্টে দানার ফাঁকে কাঁচ থাকতে পারে এবং এনালসাইট্ বা নেফিলিন থাকতে পারে। এই রকম ব্যাসল্ট গুজরাটের কচ্ছ অঞ্চলে পাওয়া গেছে।

মোটা সিল বা লাভা ফ্লো অথবা ভূপৃষ্ঠের কাছে ভূগর্ভে ম্যাগমার সঞ্চয়স্থানে (magma chamber) অনেক ক্ষেত্রে কেলাসের আপেক্ষিক গুরুত্ব ম্যাগমার আপেক্ষিক গুরুত্ব অপেক্ষা বেশী হওয়ার জন্য অলিভিনের বা পাইরক্সিনের দানাগুলি ম্যাগমার তলদেশে সঞ্চিত হতে পারে। এইভাবে পিক্‌রাইট ব্যাসল্ট্ বা ওসিয়ানাইট (Picrite basalt

or Oceanite) তৈরী হতে পারে যাদের মধ্যে শতকরা 20 ভাগের বেশী অলিভিন এবং 33 ভাগের কম প্লাগীওক্লেস থাকে। যে ক্ষেত্রে অগাইট্ ফেনোক্রুস্ট অলিভিনের ফেনোক্রুস্টের থেকেও বেশী থাকে, সেই জাতীয় পাথরকে এনকারামাইট (Ankaramite) বলা হয়। লিম্‌বার্গাইট্ (Limburgite) একটি আল্ট্রাম্যাফিক্ লাভা ; এর মধ্যে অলিভিন ও অগাইটের ফেনোক্রুস্ট থাকে এবং জমিতে থাকে অগাইটের খুব ছোট-প্রিজম্-এর মত দানা, আয়রণ ওর, কাঁচ এবং এনালসাইট্। ক্যালসিক প্লাগীওক্লেস অণু কেলাসিত না হয়ে কাঁচের উপাদানের মধ্যে সামান্য পরিমাণে থাকতে পারে। লিমবার্গাইট্ পরফিরিটিক গ্রথন দেখায়।

ওসিয়ানাইট, এনকারামাইট্ ও লিমবার্গাইট্ পাথর কাথিয়াওয়াড়ের (গুজরাট) ডেকানট্রাপে পাওয়া গেছে।

এ্যালকালী-অলিভিন ব্যাসল্ট্ ক্রমশঃ ট্রাকীব্যাসল্ট্ (trachy basalt) এর সঙ্গে মিশে যেতে পারে এবং ট্রাকাইট (trachyte) ও ফোনোলাইটের (phonolite) সঙ্গে সংশ্লিষ্ট থাকে। ট্রাকীব্যাসল্টে শতকরা 10 ভাগের বেশী পটাশ ফেল্‌সপার (orthoclase, sanidine) অথবা anorthoclase থাকতে পারে এবং অলিভিন, অগাইট্ এবং ক্যালসিক প্লাগীওক্লেস থাকে। অগাইট বেগুনী রংযুক্ত অর্থাৎ টাইটেনিয়ামযুক্ত (titanaugite) হয় এবং কোনও কোনও ক্ষেত্রে একটু অল্প ব্রাউন হর্ণব্লেড্ ও বায়োটাইট থাকতে পারে। মুগীয়ারাইট (Mugearite) এই ধরণের পাথরের সঙ্গে পাওয়া যায়। এর মধ্যে প্রধানতঃ থাকে অলিগোক্লেস (তাই এই পাথরকে অলিগোক্লেস ব্যাসল্ট বলা হয়) এবং তার সঙ্গে অল্প পটাশ ফেল্‌স্‌পার (সানিডিন) বা এনরথোক্লেস (যার উপাদান $Ab_{60}An_{20}Or_{20}$ এর মত) থাকে। এই পাথরে অগাইটের থেকে অলিভিন বেশী থাকে। আর কিছু আয়রণ ওর থাকে। এই পাথরে ভাল ফ্লোস্ট্রাকচার (ট্রাকাইট্ পাথরের মতন) দেখা যায়।

টেফ্রোয়াইট (Tephroite) একটি সিলিকা অসম্পৃক্ত ও ব্যাসল্ট্ ধরণের পাথর, এর মধ্যে অলিভিন নেই কিন্তু প্লাগীওক্লেস ও নেফিলিন থাকে। এই রকমের পাথরে অলিভিন থাকলে তাকে বাসানাইট (basanite) পাথর বলা হয়।

খুব বেশী ক্ষারীয় ভলকানিক পাথরকে নেফিলিনাইট্ (nepheli-nite) বলা হয়, যদি তার মধ্যে ফেল্‌স্‌পার একেবারে না থাকে অথবা শতকরা 10 ভাগের কম থাকে। এই পাথরে নেফিলিন, ডাইঅপসাইডিক অথবা টাইটেনিয়াম যুক্ত অগাইট্ এবং সোডালাইটজাতীয় খনিজ (sodalite, nosean or hauyan) থাকে। লিউসিটাইট্ (Leucitite)

এই ধরণের ক্ষারীয় ভলকানিক পাথর হবে যদি লিউসাইট্ প্রধান ফেলসপাথয়েড্ হিসাবে থাকে ; এর সঙ্গে মেলিলাইট (melilite) অথবা মেলানাইট গার্নেট (melanite garnet) থাকতে পারে।

ডলেরাইট (Dolerite) :

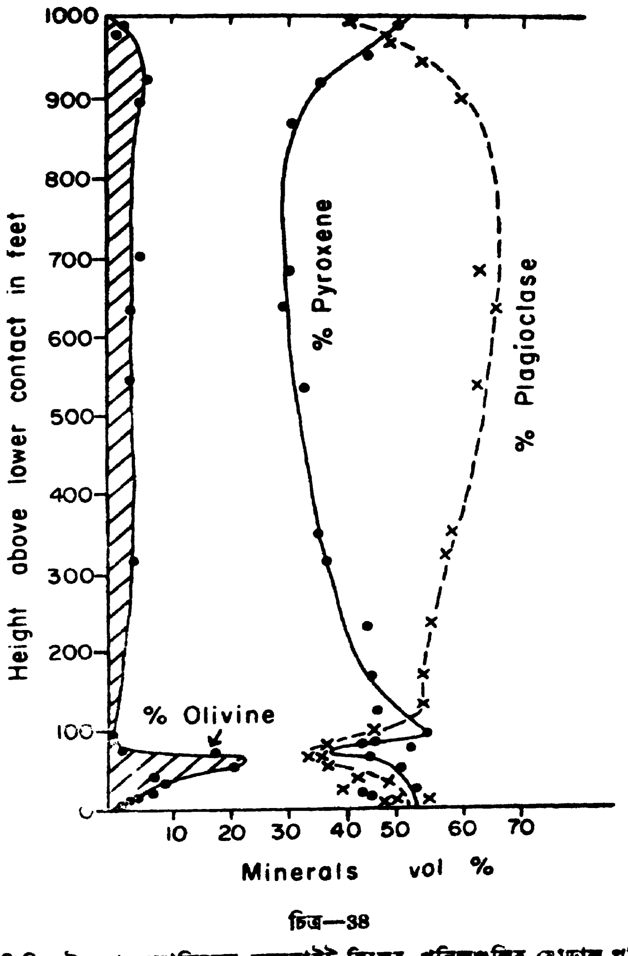
এটি ব্যাসল্ট্ ম্যাগমার তৈরী একটি হিপ্‌এবিস্যাল পাথর। এর রাসায়নিক উপাদানও ব্যাসল্টের উপাদানের মত (পৃঃ 40)। এর প্রধান খনিজ উপাদান ল্যাব্রাডোরাইট্, অগাইট্ ও আয়রণ ওর, এবং টেক্সচার অফিটিক্ বা সাব-অফিটিক্। এই পাথরের খনিজগুলি, গ্যাব্রো পাথরের খনিজগুলির মত। ডলেরাইটে অলিভিন থাকলে অলিভিন ডলেরাইট এবং হাইপার্সথিন থাকলে হাইপার্সথিন ডলেরাইট বলে। হাইপার্সথিন অগাইটের থেকে বেশী থাকলে নরাইটিক ডলেরাইট বলে। অনেক ডলেরাইটে পিজিয়নাইট (pigeonite) থাকতে পারে। পিজিয়নাইটে ক্যালসিয়াম (Ca) কম পরিমাণে থাকে এবং হাইপার্স্থিনে তার থেকে আরও কম Ca থাকে। অনেক ডলেরাইট্ পাথরে দানাগুলির মধ্যবর্তী স্থানে (interstitial spaces) কোয়ার্টজ ও এ্যালকালী ফেলস্‌পার পরস্পর অন্তর্বর্তী দানা, মাইক্রোগ্রাফিক ইণ্টারগ্রোথ তৈরী করে।

ব্যাসল্টের মতই ডলেরাইট্ সচরাচর দেখা যায়। সারা পৃথিবীতে এই পাথরের কতগুলি বিখ্যাত উদবেধী অবয়ব আছে। ইংলণ্ডের উত্তরভাগের The Great Whin Sill, আমেরিকায় নিউইয়র্ক শহরাঞ্চলের Palisade Sill, অস্ট্রেলিয়ার টাসম্যানিয়া প্রদেশের Mount Wellington Sill বেশ বিখ্যাত। ভারতবর্ষের ডেকানট্রাপ ব্যাসল্টের সঙ্গে ডলেরাইটের বহু ডাইক ও সিল আছে। বম্বের কাছে পশ্চিমঘাট অঞ্চলে, কাথিয়াওয়াড়ে এবং মধ্যপ্রদেশে নর্মদা নদীর ধারে সাতপুরা পাহাড় অঞ্চলে এই রকম পাথরের অনেক ডাইক ও সিল আছে। রাণীগঞ্জের ও ঝরিয়ার কয়লাখনি অঞ্চলের গণ্ডোয়ানা পাথরের স্তরকে এই ধরণের ডলেরাইট্ ডাইক্ অনেক জায়গায় কেটে গেছে।

ডলেরাইট্ সিলের মধ্যে, বিশেষ করে যেগুলি বেশী পুরু, সেগুলিতে ম্যাগমার ডিফারেন্সিয়েশানের প্রভাব দেখা যায়। যেমন প্যালিসেড্ সিলে একটি অলিভিন স্তর আছে যার মধ্যে 25 ভাগ অলিভিন আছে: এর দানাগুলি ম্যাগমা থেকে কেলাসনের সময় মাধ্যাকর্ষণের টানে ম্যাগমার তলদেশে সঞ্চিত হয়েছিল। একথা মনে রাখতে হবে যে ঐ সিলের মধ্যে যে ম্যাগমা প্রবেশ করেছিল তাতে মাত্র শতকরা 1 ভাগ অলিভিনের দানা ছিল। ঐ সিলের ধারের দিকে ঠাণ্ডা স্থানীয় পাথরের সংস্পর্শে এসে হঠাৎ ঠাণ্ডা হয়ে গিয়ে কাঁচ

হয়ে গেছে। এই রকম পাথর পরীক্ষা করে ঐ কথা জানা যায়। বিশাল লোপোলিথের মধ্যে ম্যাগমার যে ডিফারেন্সিয়েশান দেখা যায়, এই রকম ডলেরাইট্ সিলে সেই ধরণের ডিফারেন্সিয়েশান কিছু দেখা যায়। এদের উপরের অংশে গ্রানোফায়ার থাকতে পারে, যার মধ্যে

Variation of main mineral constituents in Palisade Sill, N.Y.



চিত্র—38

বিভিন্ন উচ্চতায় প্যালিসেড্ ডলেরাইট সিলের খনিজগুলির মোডাল পরিমাণের বিশ্লেষণ। অলিভিনের দানা কেলাসিত হওয়ার পর ম্যাগমার মধ্যে তলদেশে সঞ্চিত হয়েছে। প্লাগীওক্লেস ও পাইরক্সিন পরস্পরের সঙ্গে বিরূপ সম্পর্কযুক্ত। (F. Walker, 1940 ; Hyndman, 1967 অনুসারে)।

কোয়ার্টজ, এ্যালকালী ফেল্‌স্‌পার, সোডিক প্ল্যাগীওক্লেস, হর্ণ-ব্লেণ্ড অথবা বায়োটাইট্‌ এবং লৌহ-সমৃদ্ধ পাইরক্সিন আছে; এর সঙ্গে সামান্য পরিমাণে টাইটেনিয়াম-বিশিষ্ট আয়রণ ওর এবং এপেটাইট থাকে।

প্যালিসেড্‌ সিলের খনিজগুলির মোডাল পরিমাণের বিশ্লেষণ চিত্র 38-এ দেখান হয়েছে। এই সিলে তলায় Settle করে থাকে প্রথমে তৈরী খনিজ দানা। আর উপর দিকে থাকে ক্রমাগত পরে তৈরী দানা। সিলের বিভিন্ন অংশের পাথরের প্রত্যেকটি খনিজের Composition ডিফারেন্সিয়েশানের trend বা গতি নির্দেশ করে। এই সিলের হঠাৎ ঠাণ্ডা হয়ে যাওয়া ধারে (chill margin) আছে অলিভিন Fo_{81-77} এবং প্লাগীওক্লেস An_{61-66}। প্যালিসেড সিলের তলার দিকে অলিভিন ম্যাগনেসিয়াম সমৃদ্ধ থাকে (Fo_{77-55}) ও উপর দিকে এই অলিভিনের দানাতে ম্যাগনেসিয়াম কম থাকে ও এমন কি লোহা সমৃদ্ধ থাকতে (Fo_{20-7}) পারে। প্লাগীওক্লেস তলার দিকে An_{64} থেকে সব চেয়ে উপর দিকে An_{37}। পাইরক্সিন তলার দিকে হাইপার্স্থিন এবং অগাইট, উপর দিকে পিজিয়নাইট এবং অগাইট (উভয়েই উপর দিকে লোহা সমৃদ্ধ)।

শুধু উপরোক্ত থলিয়াইট (অর্থাৎ সিলিকা সম্পৃক্ত) ব্যাসল্ট নয়, থেরালাইট, টেশেনাইট ও এসেক্সাইট জাতীয় ব্যাসল্ট ম্যাগমার হিপ্‌-এবিশ্যাল অবয়ব হিসাবেও ডলেরাইট পাথর তৈরী হতে পারে। এই পাথরগুলি এ্যালকালী ব্যাসল্ট্‌ জাতীয়। থেরালাইটিক ডলেরাইটে (Theralitic dolerite) নেফিলিন থাকে ও টাইটান অগাইট, বারকেভিকাইট্‌, বায়োটাইট ও অলিভিন দেখা যায়। টেশেনাইটিক ডলেরাইট (Teschenitic dolerite) আরও সচরাচর দেখা যায়। এর মধ্যে নেফিলিনের জায়গায় এনাল্‌সাইট থাকে। টেশেনাইটের ডিফারেন্সিয়েশান থেকে পিক্রাইট্‌ ও এ্যালকালী পেরিডোটাইট তৈরী হতে পারে।

Essexitic-dolerite তৈরী হয় লাব্রাডোরাইট, নেফিলিন ও পটাশ ফেলসপার (Sanidine) এবং অলিভিন, টাইটান-অগাইট্‌, barkevikite এই সব খনিজ দিয়ে।

প্রাচীন ডলেরাইটগুলি অনেক সময় পরিবর্তিত হয়ে যায়। এই পরিবর্তনের ফলে পাইরক্সিন থেকে ক্লোরাইট বা ইউরালাইট জাতীয় এম্ফিবোল তৈরী হয়; প্লাগীওক্লেস থেকে এলবাইট, এপিডোট, জোইসাইট এবং ক্যালসাইট হয়; অলিভিন থেকে সারপেনটিন এবং ক্লোরাইট, ইল্‌মেনাইট থেকে লিউকোক্সিন তৈরী হয়। এই রকম পাথরে সংযুতি আগের মত থাকতে পারে; এই পাথরের একটি

অপ্রচলিত বৃটিশ নাম হ'ল ডায়াবেস (diabase)। কিন্তু আমেরিকায় ডায়াবেস কথার অর্থ হ'ল তাজা ডলেরাইট, যার মধ্যে ঐ রকম পরিবর্তন হয়নি।

গ্যাব্রো (Gabbro) এবং নরাইট (Norite)

এই পাথরগুলি খুব বেশী সংখ্যক প্লুটোনিক আগ্নেয় পাথরের অবয়ব তৈরী করে। এই দুই পাথর An_{50} থেকে এনরথাইট সমৃদ্ধ প্লাগীওক্লেস ও পাইরক্সিন দিয়ে তৈরী। গ্যাব্রোতে অগাইট ও নরাইটে হাইপার্স্থিন জাতীয় পাইরক্সিন থাকে। তবে গ্যাব্রোতে সামান্য হাই-পার্স্থিন ও নরাইটে সামান্য অগাইট থাকা সম্ভব। এই পাথরগুলিতে অতিসম্পৃক্ত পাথরে কোয়ার্টজ এবং এ্যালকালী ফেলস্পার এবং সিলিকা অসম্পৃক্ত পাথরে অলিভিন। Iron ore সাধারণত titanomagnetite বা ilmenite থাকে accessory হিসাবে। কিছু Sulphide mineral ও সামান্য পীরিমাণে থাকতে পারে। এইসব পাথরের টেক্সচার হিপই-ডিওমর্ফিক বা এলোট্রিওমর্ফিক গ্রাণুলার হয়। এই পাথরগুলি বড় দানাযুক্ত হয়। এদের রংসূচী (Colour index) 40-70-এর মধ্যে থাকে। (প্রসঙ্গতঃ উল্লেখ করা যেতে পারে যে ডায়োরাইট (diorite) পাথরের রং সূচী হোল 10-40। পাথরের রং সূচী 40-এর মত হলে প্লাগীওক্লেসের সংযুতিকে পাথরের নামকরণে ব্যবহার করা হবে।)

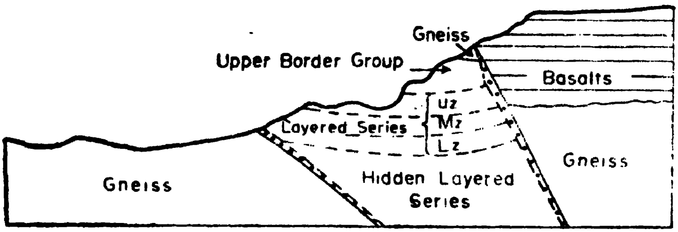
এই জাতীয় পাথরগুলি ছোট প্লাগ, বা ল্যাকোলিথ তৈরী করতে পারে কিংবা এরা আগ্নেয়পাথরের ব্যাথোলিথের অংশ তৈরী করতে পারে, যেমন থাকে anorthosite massif-এর সঙ্গে।

গ্যাব্রো ও নরাইটের অপর উল্লেখযোগ্য অবস্থান বৈশিষ্ট্য হোল লোপোলিথের (Layered igneous complex-এর) মধ্যে. এই সব অবয়বে গ্যাব্রোর মোটাস্তরগুলি (layer) এনরথোসাইটের সঙ্গে থাকতে পারে, যেমন আছে আমেরিকার Stillwater igneous complex-এ। অথবা troctolite-এর সঙ্গে থাকতে পারে, যেমন আছে Sierra Leone-এ। সেই রকম নরাইটও বেশ মোটা স্তর হিসাবে থাকতে পারে, যেমন আছে কানাডায় সাড্‌বেরী লোপোলিথ এবং দক্ষিণ আফ্রিকার বুশভেল্ড লোপোলিথে। গ্রীনল্যাণ্ডে অবস্থিত Skaergaard intrusion একটি আদর্শ লেয়ারড্ কমপ্লেক্স। এর লোয়ারজোন হাইপারস্থিন-অলিভিন গ্যাব্রো এবং আপারজোন ফেরোগ্যাব্রো দ্বারা গঠিত (চিত্র 39, 36D এবং 42)। এইসব layered complex-গুলিতে gravity settling এর জন্য ব্যাসল্ট্ ম্যাগমার তীব্র ডিফারেন্সিয়েসান দেখা যায়।

কোয়ার্টজ শতকরা দশভাগের বেশী থাকলে কোয়ার্টজ গ্যাব্রো বা কোয়ার্টজ নরাইট পাথর বলে। অলিভিন গ্যাব্রো বা অলিভিন নরাইট পাথরে অলিভিন ইউহেড্রাল দানা হিসাবে থাকে, এবং সেগুলি ঘিরে হাইপার্স্থিন (rim) থাকতে পারে।

কোনও কোনও গ্যাব্রোতে বেশী লোহা থাকতে পারে, লোহা সমৃদ্ধ পাইরক্সিন যেমন ferroaugite, fayalite rich olivine এবং iron ore হিসাবে। এইসব পাথরকে ferrogabbro বলা হয়।

প্লাগীওক্লেস সাধারণতঃ সাবহেড্রাল বা এনহেড্রাল এবং পাইরক্সিন দিয়ে অফিটিক হিসাবে সাজান থাকে কোন কোনও ক্ষেত্রে জোনিং থাকে। গ্যাব্রো ও নরাইটের প্লাগীওক্লেস "Saussuritized" হতে পারে, অর্থাৎ পরিবর্জিত হয়ে এলবাইট, কোয়ার্টজ, ক্যালসাইট, ক্লাই-



চিত্র—39

লেয়ারড্ ইনট্রুসান, স্কেয়ারগার্ড, গ্রীনল্যাণ্ড। বিভিন্ন খনিজের দানা মাধ্যাকর্ষণের জন্ম স্তরে স্তরে সঞ্চিত হয়ে একটি লেয়ারড্ সিরিজ তৈরী করেছে। লেয়ারড্ সিরিজের স্তরগুলির আপার জোন (Uz), মিড্ল জোন (Mz) ও লোয়ার জোন (Lz)। এদের তলায় হিডেন জোন আছে যার কোনও উদবেধ দেখা যায় নাই।

নোজোইসাইট বা এপিডোট দানা তৈরী হয়। এই পরিবর্তন অন্য আগ্নেয় উদ্‌বেধ থেকে ছড়ান emanation (অর্থাৎ fluids) এর জন্য তৈরী হতে পারে কিংবা low-grade metamorphism বা ম্যাগমা কেলাসন হয়ে গেলে যে অবশিষ্ট দ্রবণ থাকে, যাকে বলা হয় deuteric solutions, তাদের দ্বারা সৃষ্ট হতে পারে। এই সব পাথরে আগাইট থেকে Uralite (অর্থাৎ তন্তুর মত fibrous actinolite/tremolite) জাতীয় amphibole তৈরী হয়। অর্থোপাইরক্সিনের মধ্যে অগাইটের পাতলা পাত, (Lamellae) থাকতে পারে। সেই রকম অগাইটের মধ্যেও অর্থোপাইরক্সিনের পাত থাকতে পারে।

ট্রকটোলাইট (Troctolite) : এই জাতীয় পাথর প্লাগীওক্লেস এবং

অলিভিন দিয়ে তৈরী এবং হিপইডিওমরফিক্ অথবা allotriomorphic texture হয়। প্লাগীওক্লেস ল্যাব্রাডোরাইট এবং বাইটাউনাইট জাতীয় হয়। অনেক ক্ষেত্রে অলিভিনের চারদিকে অর্থোপাইরক্সিন reaction rim হিসাবে থাকতে পারে। প্লাগীওক্লেস এনরথাইট জাতীয় হলে allivalite পাথর বলা হয়। এই পাথরগুলি Isle of Rhum, Scotland-এ পাওয়া যায়।

এনরথোসাইট (Anorthosite)

এনরথোসাইট শতকরা 90-100 ভাগ প্লাগীওক্লেস দিয়ে তৈরী অর্থাৎ একটি monomineralic পাথর। এনরথোসাইটের একটি গুরুত্বপূর্ণ অবস্থান বৈশিষ্ট্য হলো প্রিক্যাম্বিয়ান যুগের massif হিসাবে। এইগুলি domical roof বিশিষ্ট ব্যাথোলিথ। এদের মধ্যে এনরথোসাইট ছাড়া গ্যাব্রো বা নরাইট থাকে এবং এনরথোসাইট ও গ্যাব্রো-নরাইটের মাঝামাঝি কিছু পাথরও থাকে।

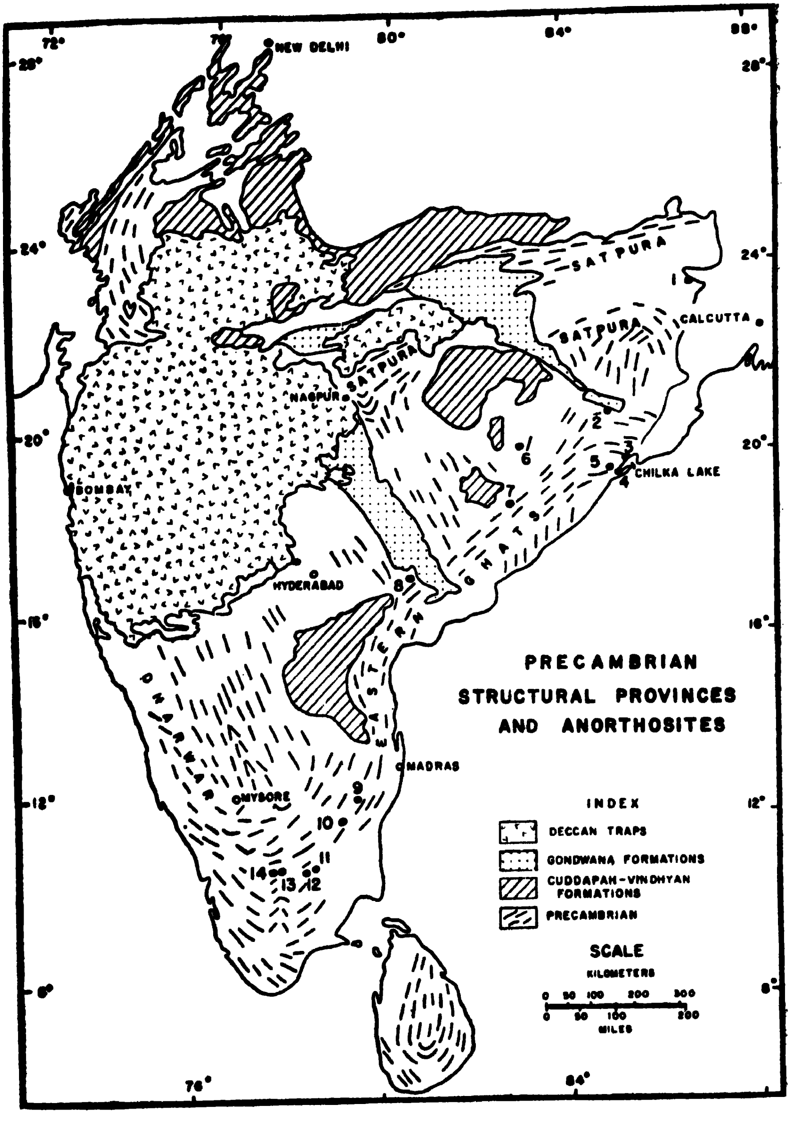
এনরথোসাইটের আরও একটি ধরণের অবস্থান বৈশিষ্ট্য আছে। এই পাথর লোপোলিথ জাতীয় layered bodies-এর মধ্যে খুব মোটা স্তর হিসাবে থাকতে পারে।

এই রকম আছে Stillwater igneous complex-এ (Montana, U.S.A.), এইখানে এনরথোসাইট 42 km দীর্ঘ এবং 1200 m মোটা স্তর (layers) হিসাবে আছে। এই রকম Bushveld igneous complex (S. Africa) এতেও পাওয়া যায়।

দক্ষিণ ভারতের সালেম জেলার সিতামপুণ্ডিতে Precambrian যুগের একটি layered-type এনরথোসাইট বডি আছে, এবং এর মধ্যে প্রায় খাঁটি এনরথাইট (অর্থাৎ An98) যুক্ত প্লাগীওক্লেস পাওয়া যায়।

মাসিফ-টাইপ (Massif-type) এনরথোসাইটে প্লাগীওক্লেস এ্যান্ডেসীন ও ল্যাব্রাডোরাইট হিসাবে থাকে, আর লেয়ারড্-টাইপ (Layered-type) এর এনরথোসাইটে প্লাগীওক্লেস আরও ক্যালসিয়াম-সমৃদ্ধ যেমন বাইটাউনাইট বা এনরথাইট জাতীয় হতে পারে। মাসিফ-টাইপে বহুক্ষেত্রে প্লাগীওক্লেস বেশী টুইনযুক্ত থাকে ও অনেকস্থানে deformation-এর চিহ্ন দেখা যায়।

এনরথোসাইটে অগাইট এবং হাইপার্স্থিন জাতীয় পাইরক্সিন অল্প পাওয়া যায় এবং ইলমেনাইট হল প্রধান Fe-Ti oxide খনিজ। এনরথোসাইটের টেক্সচার hypidiomorphic থেকে allotriomorphic granular। ম্যাফিক খনিজযুক্ত অংশে অল্প অফিটিক বা সাব-অফিটিক টেক্সচার দেখা যায় (চিত্র 34A ও 36A দ্রষ্টব্য)।



চিত্র—40

ভারতবর্ষের ভূতাত্ত্বিক মানচিত্রে প্রিক্যামব্রিয়ান ম্যাসিভ টাইপ এনরথোসাইট অবয়বগুলির অবস্থান। (চিত্রে 1 থেকে 14)।

বিশাল ডেকান ট্রাপ ব্যাসল্ট অঞ্চল এবং পাললিক অঞ্চল ও প্রিক্যামব্রিয়ান রূপান্তরিত পাথরের অঞ্চলগুলি দ্রষ্টব্য।

(A. De, 1969, Figure 1 in Memoir 18, New York State Museum ... Science Service—Geological Survey)

ভারতবর্ষে 14টি massif-type এনরথোসাইট আছে যেগুলি পূর্বঘাট অঞ্চলে 1400 কিঃ মিঃ দীর্ঘ একটি বলয় তৈরী করেছে (ছবি 40, A. De 1969)। ওড়িষ্যায় পুরী, গঞ্জাম ও বলাঙ্গীর জেলায় অনেকগুলি দেখা যায়। পশ্চিম বাংলার বাঁকুড়া জেলায় এই জাতীয় এনরথোসাইট আছে (চিত্র 87)।

উত্তর আমেরিকায় উত্তর-পূর্ব অঞ্চলে আমেরিকা ও কানাডাতে পৃথিবীর মধ্যে সবচেয়ে বেশী ও বড় মাসিফ-টাইপ এনরথোসাইট আছে, তার মধ্যে নিউইয়র্ক স্টেটের উত্তর অঞ্চলের Adirondack anorthosite massif বিশ্ববিখ্যাত।

সাম্প্রতিক চন্দ্রাভিযানের ফলে জানা গেছে যে চাঁদের বিশাল পার্বত্য অঞ্চলগুলিতে খাঁটি এনরথাইট-যুক্ত এনরথোসাইট পাথর পাওয়া যায়।

উৎপত্তি ঃ প্রিক্যামব্রিয়ান যুগের ম্যাসিভ টাইপ এনরথোসাইটের উৎপত্তি সম্পর্কে A. F. Buddington (1939, 1972) স্থির করেছেন যে এই পাথরের অবয়ব gabbroic anorthosite composition এর ম্যাগমা থেকে কেলাসিত হয়। Adirondack Mountains এ এনরথোসাইট অবয়বের সীমানার ধারে ঐরূপ ম্যাগমা হঠাৎ ঠান্ডা হয়ে gabbroic anorthosite পাথর তৈরী করেছে। ঐরূপ উপাদান বিশিষ্ট তরল ম্যাগমার অস্তিত্ব Kenningite নামক প্লাগীওক্লেস সমৃদ্ধ কাঁচযুক্ত পাথরের ডাইক থেকে ইতিপূর্বে জানা গেছে। N. L. Bowen (1917) মনে করেন যে ব্যাসল্ট্ ম্যাগমা থেকে ফ্রাকসনাল কেলাসনের জন্য অবশিষ্ট ম্যাগমা প্লাগীওক্লেস কেলাসে সমৃদ্ধ হয়ে পড়ে ও এনরথোসাইট অবয়বের অনুপ্রবেশ তৈরী করে। অন্যান্য ম্যাগমা থেকেও ঐরূপ এনরথোসাইটের উৎপত্তি হতে পারে বলে কোনও কোনও গবেষক মনে করেন।

পেরিডোটাইট (Peridotite) এবং ডানাইট (Dunite)

আলট্রাম্যাফিক (ultramafic) পাথরগুলি লোহা-ম্যাগনেসিয়াম সমৃদ্ধ খনিজে তৈরী, অর্থাৎ অলিভিন ও পাইরক্সিন এদের প্রধান উপাদান। যে পাথর শুধু অলিভিন দিয়ে তৈরী (শতকরা 95—100 ভাগ অলিভিন) তাকে বলা হয় ডানাইট্ (dunite)। এই পাথরে যে অলিভিন থাকে তাতে শতকরা 85—95 ভাগ forsterite অণু থাকে ; আর chromite আনুষঙ্গিক খনিজ হিসাবে থাকে এবং মাঝে মাঝে ছোট Pod বা lense তৈরী করে, তখন ক্রোমাইটের economic deposit তৈরী হয়। অতি সামান্য পরিমাণ এন্স্টাটাইট অথবা ডাইঅপসাইডিক

অগাইট থাকতে পারে। এই পাথরের টেক্সচার হোল জেনোমরফিক গ্র্যানুলার (xenomorphic granular)।

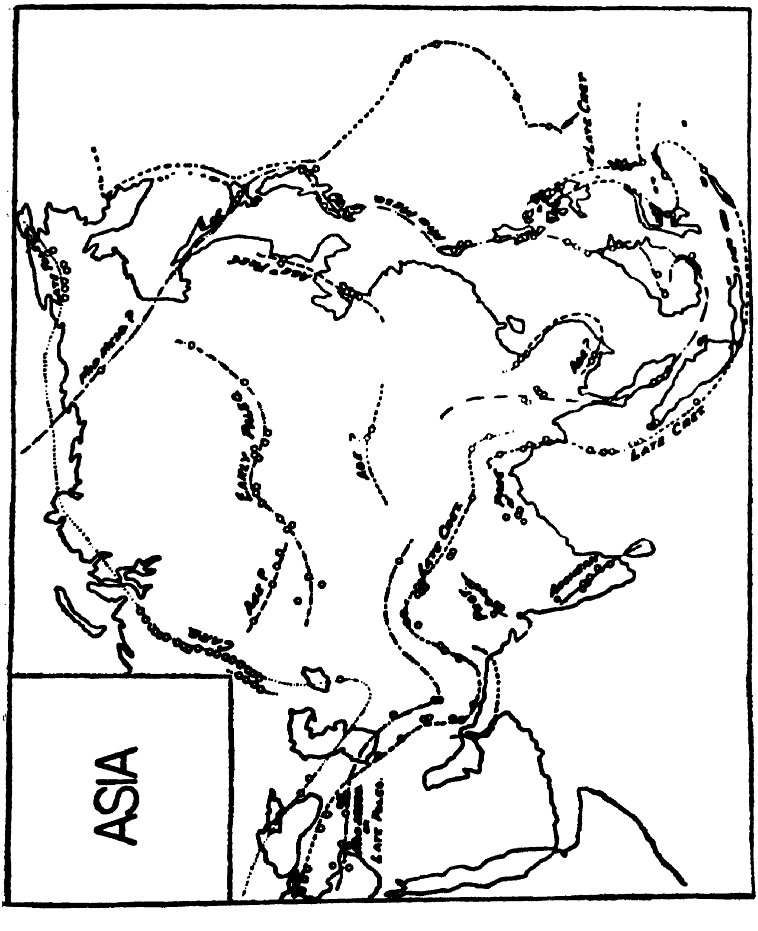
যে পাথরে অলিভিন ও পাইরক্সিন দুইই প্রধানতঃ থাকে তাকে বলে পেরিডোটাইট (peridotite)। এই জাতীয় পাথরের মধ্যে harzburgite একটি খুব গুরুত্বপূর্ণ পাথর, এর মধ্যে আছে অলিভিন ও এন্স্টাটাইট্ এবং তার সঙ্গে আছে সামান্য পরিমাণে ক্রোমাইট। এই পাথরের টেক্সচার xenomorphic granular. এই দুই জাতীয় পাথরেই অলিভিন ও পাইরক্সিন দুই খনিজের দানাই ধারের দিকে গুড়ার মত থাকে ও মাইক্রোস্কোপ দিয়ে দানার মধ্যে undulatory extinction দেখা যায়। ডানাইট ও পেরিডোটাইটের গ্রথন চিত্র 35B ও 35C-তে দেখান হয়েছে।

Lherzolite জাতীয় পেরিডোটাইট পাথরে খুব বেশী পরিমাণে থাকে ফর্স্টেরাইট সমৃদ্ধ অলিভিন এবং অল্প পরিমাণে থাকে ডাইঅপ্সাইড জাতীয় পাইরক্সিন ও অরথোপাইরিক্সন। ক্রোমাইট সামান্য accessory হিসাবে থাকে। Wherlite আর এক জাতীয় পেরিডোটাইট তার মধ্যে প্রধানতঃ থাকে অলিভিন ও ডাইঅপসাইডিক ক্লাইনোপাইরক্সিন। আলট্রাম্যাফিক পাথরগুলিতে অল্পবিস্তর serpentinization দেখা যায়। অলিভিন বেশী পরিবর্তিত হয়ে যায় এবং platy ধরণের antigorite ও lizardite, আর fibrous ধরণের chrysotile : প্রধানতঃ এই তিন জাতীয় সারপেনটিন্ তৈরী হয়। সাধারণতঃ অলিভিন দানার ধার থেকে এবং irregular fracture দিয়ে, ক্রাইসোটাইল অলিভিনকে প্রতিস্থাপন (replace) করে। শেষোক্ত ভাবে তৈরী chrysotile-এ cross-fibre বিন্যাস দেখা যায় fracture-এর সঙ্গে। এন্স্টাটাইট পরিবর্তিত হয়ে bastite-এর (এক জাতীয় antigorite) ছদ্মরূপ (pseudomorph) হিসাবে তৈরী হয়। পেরিডোটাইট serpentinized হলে অনেক ক্ষেত্রে chrysotile এস্বেস্টাসের শিরা (vein) থাকে। আলট্রাম্যাফিক পাথরগুলি নির্জলা (anhydrous) থাকে কিন্তু serpentinized হলে এরা hydrous হয়ে যায়, কারণ serpentine একটি জলযুক্ত (hydrous) খনিজ (চিত্র 86)।

আলট্রাম্যাফিক পাথরের অবস্থান বৈশিষ্ট্য ও উৎপত্তি—(1) ডানাইট এবং পেরিডোটাইট পাথরের সবচেয়ে বৈশিষ্ট্যপূর্ণ অবস্থান হোল alpine-type orogenic belt এর মাঝ বরাবর, এজন্য এই জাতীয় ultramafic পাথরকে alpine-type বলা হয়। বঙ্গোপসাগরের আন্দামান দ্বীপপুঞ্জ থেকে মনিপুর পর্যন্ত পূর্বাঞ্চলে, আর উত্তরভারতের লাডাক অঞ্চলে এই শ্রেনীর পাথর Alpine-Himalayan orogenic belt এর মধ্যে পাওয়া যায় (চিত্র 41 দ্রষ্টব্য)।

চিত্র—41

এশিয়া মহাদেশের বিভিন্ন আলট্রাম্যাফিক পাথরের অবয়বগুলির অবস্থানের মানচিত্র। (H. H. Hess, 1954, Geol. Soc. Amer. Sp. Paper 62, অনুসারে)



এছাড়া এই পাথর পাওয়া যায় Mid Oceanic Ridge এর Median Fracture Zone-এ, যেমন Mid Atlantic Ridge-এর বিভিন্ন অংশে। এই রকম আলট্রাম্যাফিক পাথর alkali-olivine-basalt-এর ভলকানিক প্লাগ-এর পাথরে inclusion হিসাবেও পাওয়া যায়—যাকে বলা হয় peridotite nodule।

(2) এই জাতীয় আলট্রাম্যাফিক পাথরে অর্থোপাইরক্সিন এবং ক্লাইনোপাইরক্সিন এর মধ্যে অধিক পরিমাণে Al_2O_3 থাকে, কোন কোন পেরিডোটাইট এর মধ্যে Spinel বা গারনেট্ (যেমন garnet lherzolite-এ) থাকে, এই থেকে জানা যে ঐসব ultramafic পাথর গভীর ভূগর্ভে পৃথিবীর mantle এর মধ্যে অত্যন্ত বেশী চাপে তৈরী হয়েছে।

(3) Mantle এর মধ্যে দিয়ে যাবার সময় ভূমিকম্পের ঢেউ-এর গতিবেগ থেকে জানা যায় যে সেই অঞ্চল প্রধানতঃ ডানাইট ও পেরিডোটাইট-এ তৈরী।

এইসব কারণে এখন স্থির করা হয়েছে যে alpine-type ultramafic পাথর upper mantle থেকে কঠিন পদার্থ হিসাবে dislocation অথবা fracture zone দিয়ে নির্গত হয়ে ভূত্বকের orogenic belt এর পাথরে বা Mid Oceanic Ridge এ ঢুকেছে। Upper mantle এর যে গভীর স্থানে গলিত হয়ে ব্যাসল্ট ম্যাগমা উৎপন্ন হয় সেই স্থানের আল্ট্রাম্যাফিক পাথর তীব্র অগ্ন্যুৎপাতের সময় আগ্নেয়গিরির মধ্যে নির্গত লাভার সঙ্গে কঠিন টুকরা (peridotite nodules) হিসাবে বার হয়ে আসতে পারে।

আল্ট্রাম্যাফিক পাথর তারই উপাদান বিশিষ্ট ম্যাগমা থেকে কেলাসিত হয় না, তার কারণ এই রকম ম্যাগমা অস্বাভাবিক বেশী তাপাঙ্কে তরল থাকে, (ফর্‌স্‌টেরাইটের কেলাসন তাপাঙ্ক 1880°)। তবে এর ব্যতিক্রম হিসাবে উল্লেখ করা যায় যে সামান্য কয়েক জায়গায় আল্ট্রাম্যাফিক লাভা পাওয়া গেছে। এই পাথরগুলি সাধারণতঃ প্রীক্যাম্ব্রিয়ান যুগের ও তাদের উপাদানও অন্যরূপ—যথেষ্ট CaO সমৃদ্ধ (CaO/Al_2O_3 ratio >1), এদের Komatiite বলা হয়।

(4) আল্ট্রাম্যাফিক পাথরের আর এক ধরণের অবস্থান বৈশিষ্ট্য হোল লোপোলিথ-এর মধ্যে, বিরাট প্লুটনিক আগ্নেয় পাথরের অবয়বে এই পাথর Layers হিসাবেও পাওয়া যায়। এরকম আছে Stillwater igneous complex ও Bushveld complex এবং Isle of Rhum, Scotland ইত্যাদির মধ্যে।

ম্যাগমা যখন বড় প্লুটনিক বডি তৈরী করে তখন তার ঠাণ্ডা হতে খুব সময় লাগে। গোড়ায় কেলাসিত খনিজ যেমন অলিভিন, ক্রোমাইট্, ব্রনজাইট্ ইত্যাদি ম্যাগমার তুলনায় বেশী আপেক্ষিক গুরুত্ব বিশিষ্ট এজন্য এইসব খনিজের দানা কেলাসিত হবার পর ম্যাগমার মধ্যে ডুবতে থাকে। এইসব খনিজের দানার ডুবতে থাকার গতিবেগ নির্ভর করে (ক) খনিজ দানার ব্যাস, (খ) ম্যাগমা যে তাপাঙ্কে আছে সেই অবস্থায় খনিজের দানার আপেক্ষিক গুরুত্ব ম্যাগমার আপেক্ষিক গুরুত্ব অপেক্ষা কতটা তফাৎ, (গ) তরল ম্যাগমার ঐ তাপাঙ্কে সান্দ্রতা (viscosity) কত এইসবের উপর।

এজন্য অলিভিন, পাইরক্সিন এবং ক্রোমাইট এর দানাগুলি gravitational settling এর ফলে সঞ্চিত হয়ে আল্ট্রাম্যাফিক পাথর তৈরী করে; যেমন dunite, bronzitite, harzburgite, chromitite এবং pyroxenite.

এই সব আল্ট্রাম্যাফিক পাথরের ম্যাগমার মধ্যে settle করা খনিজের দানাকে Cumulus grains বলে। এইসব দানার ফাঁকে ফাঁকে interstitial ম্যাগমা থেকে ঐ কিউমুলাস দানাগুলিকে মধ্যে রেখে দেরীতে কেলাসিত খনিজের বড় Poikilitic crystals তৈরী হয় (চিত্র 36D)।

এ ধরণের আল্ট্রাম্যাফিক পাথরে হিপইডিওমর্ফিক ও পয়কিলিটিক টেক্সচার দেখা যায় এবং ম্যাগমা চেম্বারের তলদেশে তরল ম্যাগমার মধ্যে খনিজের কেলাসগুলির উপর উপর পড়ার জন্য primary layering দেখা যায় (ছবি 42)। (এটা বিশেষভাবে লক্ষণীয় যে জলের তলায় বালি দানা যেভাবে জমে পাললিক পাথর তৈরী হয়, বড় ম্যাগমার প্লুটনিক বডিতেও Cumulus দানাগুলি ঠিক সেই পদ্ধতিতেই সঞ্চিত হয়, এজন্য এভাবে তৈরী পাথরে পাললিক শিলার কিছু কিছু গঠন

দেখা যায়, যেমন ক্রশ-বেডিং, স্লাম্প-স্ট্রাকচার ও গ্রেডেড বেডিং জাতীয় গ্রাভিটি স্ট্র্যাটিফিকেশন)।

চিত্র—42

আগ্নেয় পাথরে লেয়ারিং (Layering) অলিভিনের ট্যাবুলার দানাগুলি পর পর সঞ্চিত হয়ে স্তরায়ণ তৈরী করেছে। কাল রং-এ চিহ্নিত স্পিনেল কেলাস ও অন্তর্বর্তী স্থানে আছে সামান্য কিছু প্লাগাওক্লেস। স্কেয়ারগার্ড ইনট্রুসানের পাথর (L. R. Wager & G. M. Brown, 1967 অনুসারে)। (×15)।

পিকরাইট (Picrite)

পিক্‌রাইটের উপাদান প্রায় পেরিডোটাইটের মত ম্যাফিক খনিজে তৈরী তবে তফাৎ হোল এই যে এই পাথরে অল্প পরিমাণে প্লাগীও-ক্লেস্‌ ফেল্‌স্‌পার থাকে। পিক্‌রাইট হোল বড় দানাযুক্ত আল্ট্রাম্যাফিক পাথর। এই ধরণের উদ্গিরিত পাথরকে বলা হয় পিক্‌রাইট-ব্যাসল্ট। অলিভিন সমৃদ্ধ হোলে এই জাতীয় পাথরকে বলে ওসিয়ানাইট (oceanite) এবং অগাইট সমৃদ্ধ হলে এন্‌কারামাইট (ankaramite)। কাথিয়াওয়ারের (গুজরাট) কয়েকটি অঞ্চলে ডেকান ট্র্যাপ-এর মধ্যের ড্রিল কোর (drill core) থেকে পিক্‌রাইট-ব্যাসল্টের অনেক লাভার সন্ধান পাওয়া গেছে।

এ্যাণ্ডেসাইট (Andesite)

এ্যাণ্ডেসাইট ক্যাল্‌ক-এ্যালকালী গ্রুপের অন্তর্ভুক্ত পাথর। এদের এ্যালকালী-লাইম সূচী (alkali-lime index) 56 থেকে 61 এর মধ্যে থাকে। এ্যাণ্ডেসাইটে সিলিকার পরিমাণ শতকরা 54 এর উপরে। এ্যাণ্ডেসাইট পাথরকে intermediate acidity পাথর বলা হয়।

ক্যাল্‌ক-এ্যালকালী গ্রুপের মধ্যে andesite-latite-dacite-rhyolite শ্রেণীর ভলকানিক পাথর সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ। এদের সমজাতীয় প্লুটনিক পাথর হোল diorite-monzonite-granodiorite-granite।

পৃথিবীর বৃহত্তম পর্বতমালাগুলির অরোজেনির (orogeny) সময় যে অগ্নুৎপাত হয় তা প্রধানতঃ andesite-rhyolite শ্রেণীর। এ্যাণ্ডেসাইট central type আগ্নেয়গিরি থেকে উদ্গিরিত হয়। উদ্গিরণের সময় প্রচুর পরিমাণে pyroclastic পদার্থ যেমন এগ্লোমারেট (agglomerate), tuff এবং ভলাটাইল (প্রধানতঃ জলীয় বাষ্প) নির্গত হয়।

দক্ষিণ আমেরিকার এণ্ডিস পর্বতমালার আগ্নেয়গিরিগুলিতে, পশ্চিম ভারতীয় দ্বীপপুঞ্জে (West Indies) ও মধ্য আমেরিকার (Central America) জীবন্ত আগ্নেয়গিরিগুলিতে এ্যাণ্ডেসাইট লাভা উদ্গিরিত হয়।

প্রশান্ত মহাসাগরকে বেষ্টন (Circum Pacific belt) করে উত্তর আমেরিকার পশ্চিম দিকে কর্ডিলেরা পর্বতমালা এবং উত্তরের আলাস্কা, রাশিয়ার কামচাট্‌কা, জাপান, ফিলিপাইন দ্বীপপুঞ্জ ইত্যাদি অঞ্চলে এ্যাণ্ডেসাইট পাওয়া যায় এবং ইহাই ঐ অঞ্চলের আগ্নেয়গিরি সঞ্জাত প্রধান পাথর।

এই Circum Pacific belt থেকে পূর্বভারতীয় দ্বীপপুঞ্জের (ইষ্ট ইণ্ডিজ্‌) এর মধ্যে দিয়ে বঙ্গোপসাগরের আন্দামান ও নিকোবর দ্বীপপুঞ্জের ও বার্মার মধ্যে দিয়ে একটি অঞ্চল আছে যার মধ্যে অনেক স্থানে এ্যাণ্ডেসাইট লাভা পাওয়া যায়। ভারতবর্ষের আন্দামান দ্বীপপুঞ্জের ব্যারেন আইল্যাণ্ড দ্বীপে একটি ঘুমন্ত আগ্নেয়গিরি আছে, যার শেষ অগ্ন্যুৎপাত 1789 সালে দেখা গিয়াছে।

পূর্বগোলার্ধের বৃহত্তম পর্বতমালা Alpine-Himalayan Mountain chain এর বিভিন্ন জায়গায় এ্যাণ্ডেসাইট পাথরের অবস্থান দেখা গেছে। উত্তর হিমালয়ের বুর্জিল-এষ্টর অঞ্চলে Cretaceous Eocene volcanics এর মধ্যে এ্যাণ্ডেসাইট পাওয়া যায়।

পেট্রোগ্রাফীর দিক থেকে এ্যান্ডেসাইটের একটি বৈশিষ্ট্য হল এর প্লাগীওক্লেস ফেনোক্রস্টগুলিতে খুব বেশী জোনিং (zoning) দেখা যায়। এই জোনগুলির মধ্যে উপাদানের খুব পার্থক্য থাকে। যেমন একই ফেনোক্রস্টের কোনও জোন বাইটাউনাইট জাতীয়, এবং অন্য জোনগুলি ল্যাব্রাডোরাইট, এ্যান্ডেসিন বা অলিগোক্লেস জাতীয় প্লাগীওক্লেস থাকে। এ্যান্ডেসাইট পাথরে অলিভিন, পাইরক্সিন, হর্ণব্লেড ও ও বায়োটাইট ফেনোক্রস্ট হিসাবে থাকে। শেষোক্ত দুই জলযুক্ত খনিজের দানাগুলি ধারে ধারে ম্যাগনেটাইট্ ও পাইরক্সিনের অতিক্ষুদ্র দানায় পরিবর্তিত হয়ে থাকতে পারে।

এ্যান্ডেসাইটের দুই বিশেষ টেক্সচার হল—pilotaxitic এবং hyalopilitic textures।

পাইলোট্যাক্সিটিক টেক্সচারে ফেলসপার ল্যাথগুলি ঘন সন্নিবিষ্ট থাকে ও একদিকে সমান্তরালভাবে থেকে প্রবাহ গঠন (flow structure) দেখায়।

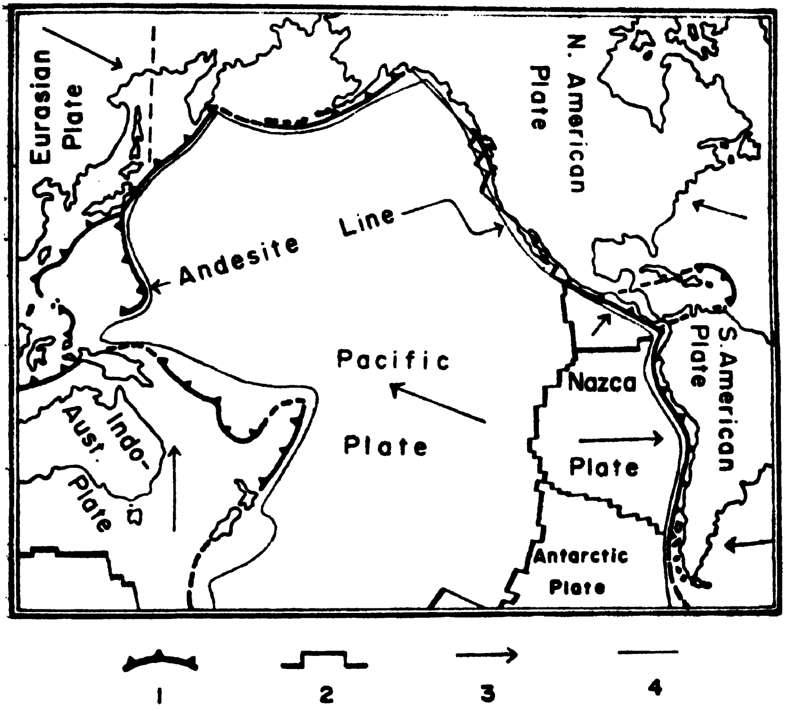
হাইয়ালোপিলিটিক্ টেক্সচারে প্লাগীওক্লেসের দানার বহু লম্বা ল্যাথ একটি প্রবাহ গঠন তৈরী করে এবং এই দানাগুলির ফাঁকে ফাঁকে কাঁচ থাকে ও ছোট পাইরক্সিন ম্যাগনেটাইট ও কোয়ার্টজ থাকতে পারে।

ডেসাইট (Dacite)

ডেসাইট পাথরে ফেনোক্রস্ট হিসাবে থাকে প্লাগীওক্লেস (অলিগোক্লেশ—এ্যান্ডেসিন জাতীয়), বায়োটাইট এবং হর্ণব্লেন্ড। কোয়ার্টজ, সানিডিন, আয়রণ ওর ও কাঁচ, ফেনোক্রস্টগুলির চারদিকের ভূমি তৈরী করে। কোয়ার্টজ ও সানিডিন গ্রাউন্ডমাসের মধ্যে স্ফেরুলিটিক গঠন তৈরী করতে পারে। এই পাথরে প্রবাহ গঠন দেখা যেতে পারে।

উৎপত্তি ঃ ভূতাত্ত্বিক গবেষণার ফলে জানা গেছে যে এ্যান্ডেসাইট পাথর মহাদেশের অরোজেনিক বলয়ে (orogenic belt) পাওয়া যায়। প্রশান্ত মহাসাগরের ধার দিয়ে একটি রেখা কল্পনা করা যায় যার মহাদেশের দিকে এ্যান্ডেসাইট ভল্‌কানিজম্ আছে ও মহাসাগরের দিকে এ্যান্ডেসাইট নেই। এই রেখাকে বলা হয় এ্যান্ডেসাইট লাইন (চিত্র—43)। বর্তমানে জানা গেছে যে ঐ রেখার কাছাকাছি অঞ্চলে মহাসাগরে লিথোস্ফেরিক প্লেট (lithospheric plate) ঢালু হয়ে তার পার্শ্ববর্তী মহাদেশের লিথোস্ফেরিক প্লেটের তলায় নেমে গেছে (একে বলা হয় subduction zone) (চিত্র—43)। এই ঢালু plane এর উপর ভূমিকম্পের বহু epicentre এর অবস্থান এবং একে বলা

হয় Benioff Zone। এই জোন থেকে এ্যাণ্ডেসাইট ম্যাগমার উৎপত্তি হয়। বিভিন্ন গবেষণায় জানা গেছে যে (1) জলের উপস্থিতিতে ও oxidizing



1—Subduction zone, 2—Oceanic ridge-Transform faults. 3—Movement direction of Plate. 4—Andesite Line.

চিত্র—64

এ্যাণ্ডেসাইট লাইনের মানচিত্রে অবস্থান (H. H. Hess, 1948, Trans. Amer. Geophysical Union অনুসারে) এবং তার Plate Tectonic পরিবেশ (লেখক কর্তৃক সংযোজিত)।

অবস্থাতে ব্যাসল্ট ম্যাগমার ফ্রাকসনাল কেলাসন থেকে এ্যাণ্ডেসাইট ম্যাগমা তৈরী হতে পারে এবং এই জাতীয় ব্যাসল্ট ম্যাগমা তৈরী হতে পারে আপার ম্যাণ্ট্‌লের আল্ট্রাম্যাফিক পাথর জলের উপস্থিতিতে আংশিকভাবে গলিত হওয়ায় ফলে; অথবা (2) এক্‌লগাইট (eclogite) পাথরের উচ্চ চাপে আংশিক ভাবে গলিত হওয়ার ফলে এ্যাণ্ডেসাইট ম্যাগমা তৈরী হতে পারে।

আগে মনে করা হত যে ভূত্বকের সিয়ালিক (Sialic) পদার্থ ব্যাসল্ট ম্যাগমার সঙ্গে বেশী পরিমাণে পরিমিশ্রিত (assimilated) হয়ে এ্যাণ্ডেসাইট তৈরী করে। কিন্তু trace element এবং lead ও strontium (Sr 87/Sr 86) isotope analyses থেকে এই ধারণা গুরুত্বপূর্ণ নয় বলে প্রমাণিত হয়েছে।

গ্রানাইটিক পাথর (Granitic rocks)

প্লুটনিক পাথরের মধ্যে গ্রানাইটিক পাথর সবচেয়ে বড় আকারের অবয়ব তৈরী করে। তবে গ্রানাইটের মত উপাদান বিশিষ্ট নিঃসারী পাথর রায়োলাইট কিন্তু ব্যাসল্ট অথবা এ্যাণ্ডেসাইটের থেকে কম এলাকায় পাওয়া যায়।

গ্রানাইটিক পাথর পৃথিবীর সবচেয়ে বড় বড় পর্বতমালার মধ্যে প্লুটন বা ব্যাথোলিথ তৈরী করে। দক্ষিণ আমেরিকার পশ্চিমদিকে কর্ডিলেরা পর্বতমালা এবং উত্তর আমেরিকার পশ্চিম দিকের কর্ডিলেরা পর্বতমালায় বিশাল গ্রানাইটিক ব্যাথোলিথ দেখা যায়। এগুলি মেসোজোয়িক যুগের।

হিমালয় পর্বতমালাতে মেসোজোয়িক ও কাইনোজোয়িক যুগের বহু গ্রানাইট্ ব্যাথোলিথ আছে। গ্রানাইট্ ব্যাথোলিথ বিশেষ করে প্রি-ক্যাম্ব্রিয়ান অঞ্চলে খুব বেশী দেখা যায়। এছাড়া পৃথিবীর বহু নন-অরোজেনিক এলাকাতে গ্রানাইট্ ছোট ছোট অবয়ব তৈরী করে, যেমন রিংডাইক, কোন্সিট্ (conc sheet) বা অন্য ছোট ডাইক্। এদের মধ্যে কতগুলি আবার নিঃসারী ভলকানিক রায়োলাইট পাথরের সঙ্গে বিশেষভাবে সংশ্লিষ্ট থাকে। রায়োলাইটের জীবন্ত আগ্নেয়গিরি Circum-Pacific belt of Volcanoes এর উত্তর ভাগে (যেমন আলাস্কার মাউণ্ট্ ক্যাট্মাই এবং পূর্ব রাশিয়ায় কামচাট্কা উপদ্বীপ অঞ্চলে) পাওয়া যায়। অনেক এ্যাণ্ডেসাইট আগ্নেয়গিরি অল্প পরিমাণে রায়োলাইট্ উদ্গিরণ করে।

গ্রানাইট পাথরের অবস্থান বৈশিষ্ট্যের এবং তার সঙ্গে সংশ্লিষ্ট অন্য বৈশিষ্ট্যের খুব বেশী বৈচিত্র দেখা যায়। এজন্য A. F. Buddington (1959) গ্রানাইট পাথরের অনুপ্রবেশ (emplacement) এর একটি বিশদ আলোচনা করেছেন।

ভূত্বকের বিভিন্ন গভীরতায় অথবা বিভিন্ন তাপাঙ্ক এবং চাপের intensity zones এর মধ্যে গ্রানাইটিক পাথর অনুপ্রবেশ করে নিজের স্থান গ্রহণ করে। A. F. Buddington দেখিয়েছেন যে একটি zone

এরমধ্যে যেসব গ্রানাইট অবয়ব অনুপ্রবেশ করেছে তাদের অন্তঃস্থ এবং বহিঃস্থ গঠনের (structures) এর কিছু কিছু বৈশিষ্ট্য আছে। এক জোন থেকে অন্য জোনে এই সব বৈশিষ্ট্যের পার্থক্য দেখায়।

পাথর মেটামর্ফিজম্ এর সময়ে ভূগর্ভে কত গভীরতায় অবস্থিত ছিল তার সংগে রিজিওনাল মেটামর্ফিজম্ এর তীব্রতার সম্পর্ক থাকে: এজন্য মেটামর্ফিজম এর গ্রেড থেকে বোঝা যায় যে গ্রানাইট অবয়ব অনুপ্রবেশ করার সময় স্থানীয় পাথর ভূগর্ভের মধ্যে কত গভীরতায় ছিল।

তবে মনে রাখা দরকার যে জোন কথাটি এখানে ভূত্বকে গ্রানাইট বডি সেখানে অনুপ্রবেশ করেছে তার তাপাঙ্ক, চাপ ইত্যাদির physical intensity-র নির্দেশক হিসাবে ব্যবহার করা হয়েছে: ভূত্বকে গভীরতার জোন হিসাবে ঠিক নয়।

এইরকম তিনটি জোন Buddington নির্দেশ করেছেন:

(1) Epizone : ভূ-পৃষ্ঠ থেকে 4 মাইল গভীর পর্যন্ত বিস্তৃত এবং কোন কোনও ক্ষেত্রে 6 মাইল পর্যন্ত। এই জোনে স্থানীয় পাথরে 250°C মত তাপাঙ্ক থাকে যার মধ্যে epizonal গ্রানাইট বডি অনুপ্রবেশ করেছে।

(2) Mesozone : এপিজোনের তলায় সাধারণতঃ 5—10 মাইল পর্যন্ত বিস্তৃত থাকে এবং স্থানীয় পাথরের তাপাঙ্ক মেসোজোনের উপর দিকের অংশে 250—350°C এর মত থাকে আর তলার দিকে 500°C মত গরম হয়।

(3) Catazone 9 থেকে 13 মাইল গভীর অঞ্চলে বিস্তৃত থাকে এবং স্থানীয় পাথরের তাপাঙ্ক 600° থেকে 700° মত বেশী গরম হতে পারে।

Epizone-এ অনুপ্রবিষ্ট গ্রানাইট প্লুটনগুলিতে নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য দেখা যায় :

(ক) এরা ছোট স্টক্ (stock) বা ব্যাথোলিথ্ (batholith) আকারের এবং স্থানীয় পাথরের সংগে discordant ও তার সংগে সংযোগস্থলে গ্রানাইটে chill zone দেখা যায়। স্থানীয় পাথরে সংস্পর্শ রূপান্তর (contact metamorphism) বা মেটাসোমাটিজম্ (metasomatism) দেখায়।

(খ) এপিজোনাল গ্রানাইট প্লুটনের সংগে ঐ একই উপাদান বিশিষ্ট এবং ঘনিষ্ঠ সম্পর্কযুক্ত ভল্‌কানিক (volcanic) পাথর দেখা যায়।

(গ) অধিকাংশ এপিজোনাল প্লুটনে কোনও foliation দেখা যায় না।

Mesozone-এ অনুপ্রবিষ্ট গ্রানাইট প্লুটনের বৈশিষ্ট্য হোল :

(ক) এরা green schist, epidote amphibolite এবং phyllite জাতীয় স্থানীয় পাথরের মধ্যে অনুপ্রবেশ করে।

(খ) প্লুটনগুলি আংশিক ভাবে স্থানীয় পাথরের সঙ্গে concordant এবং আংশিক ভাবে discordant।

(গ) সংস্পর্শ রূপান্তর (contact metamorphism) দেখা যেতে পারে।

(ঘ) এই প্লুটন ও সঙ্গের ভলকানিক (volcanic) পাথরের অবয়বগুলি H. Cloos-এর নির্দেশিত "Granite Tectonics" পদ্ধতি অনুসারে অনুসন্ধান করলে তাদের গঠন (structures) অতি সুন্দরভাবে বোঝা যায়। মেসোজোনাল গ্রানাইট্ প্লুটনের উপরের অংশ arch এর মত হয় এবং পাশগুলি বাহিরের দিকে ঢালু হয়ে গভীর অঞ্চলে নেমে যায়।

আরও গভীর অঞ্চলে Catazone এ অনুপ্রবেশকারী গ্রানাইট প্লুটন (ক) যে সকল স্থানীয় পাথরে ঢুকে তার মধ্যে প্রধানতঃ আছে এম্‌ফিবোলাইট্, সিলিম্যানাইট্ সিস্ট্ মার্বেল, গ্রানুলাইট্ এবং নাইস (gneiss)। (খ) ক্যাটাজোনাল প্লুটনের কোনও চিল্‌জোন (chill zone) থাকে না। (গ) স্থানীয় পাথর ও গ্রানাইট প্লুটনের মধ্যে structural conformity দেখা যায়। (ঘ) catazonal প্লুটনগুলি পুনরায় কেলাসন (recrystallization) এবং প্রতিস্থাপন (replacement) দ্বারা অনুপ্রবিষ্ট হতে পারে অথবা অনুপ্রবেশ প্রধানতঃ ম্যাগমার intrusion এর জন্যও হতে পারে।

অগেন নাইস্ (Augen gneiss), porphyroblastic granite এবং গ্রানাইটিক নাইস্ (যা replacement এর ফলে উৎপন্ন) এগুলি catazonal এ সচরাচর দেখা যায়। (ঙ) ক্যাটাজোনাল গ্রানাইট্ অবয়ব dome, phacolith এবং conformable sheet হিসাবে থাকে অথবা খুব irregular আকারে হয়। (চ) এদের সাধারণতঃ Syntectonic দেখা যায় এবং প্রি-কাম্ব্রিয়ান যুগে খুব বেশী দেখা যায় ; পরবর্তী যুগের এলাকাতে দেখা যেতে পারে।

উদাহরণ : (1) সৌরাষ্ট্রের বরদা পাহাড়ে অবস্থিত গ্রানোফায়ারিক গ্রানাইট, ফেলসাইট ও রায়োলাইটযুক্ত এসিড ইগনিয়াস কমপ্লেক্স এপিজোনাল গ্রানাইট অবয়বের উদাহরণ (A. De, and D. P. Bhattacharyya, 1971)। (2) পশ্চিম বাংলার পুরুলিয়া জেলার পূর্ব

মানভূম অঞ্চলের পরফিরিটিক গ্রানাইট অবয়বের মধ্যে primary flow structures এবং joints আছে (S. Sen, 1956); এই অবয়ব মেসো-জোনাল গ্রানাইটের উদাহরণ। (3) মধ্য ভারতের নাগপুর জেলার প্রি ক্যাম্ব্রিয়ান যুগের 'সসার সিরিজ'-এর মধ্যে অনুপ্রবেশিত streaky gneiss batholith ক্যাটাজোনাল গ্রানাইটিক অবয়বের একটি উদাহরণ। এই ব্যাথোলিথ সীমানার ধারে স্থানীয় রূপান্তরিত পাথরের স্তরকে ধাপে ধাপে কেটে অনুপ্রবেশ করেছে (W. D. West, 1933)।

গ্রানাইট (Granite)

গ্রানাইট পাথরে শতকরা 80 ভাগ অথবা তার বেশী পরিমাণে quartz+alkali felspar+plagioclase খনিজ (নরমাটিভ্ অথবা মোডাল) থাকে। কোয়ার্টজ শতকরা 20 থেকে 40% থাকে। গ্রানাইটের গ্রথন হিপইডিওমর্ফিক গ্রানুলার বা এলোট্রিওমর্ফিক গ্রানুলার এবং অনেক পাথর পরফিরিটিক হতে পারে।

পটাশ ফেলসপার ও প্লাগীওক্লেসের অনুপাত অনুসারে গ্রানাইটিক (granitic) পাথরকে পটাশিক গ্রানাইট (potassic granite), এডামেলাইট (adamellite) এবং গ্রানোডায়োরাইট (granodiorite) —এই তিন ভাগে বিভক্ত করা হয়। পটাশিক গ্রানাইটে পটাশ ফেলসপার সমগ্র ফেলসপারের 2/3 অংশ তৈরী করে আর প্লাগীওক্লেস 1/3 অংশ তৈরী করে ; এডামেলাইট পাথরে পটাশ ফেলসপার 2/3 অংশের কম থেকে 1/3 অংশের বেশী এবং প্লাগীওক্লেস 1/3 অংশের বেশী থেকে 2/3 অংশের কম থাকে। গ্রানোডায়োরাইট পাথরে প্লাগীওক্লেস প্রাধান্য লাভ করে এবং সমগ্র ফেলসপারের 2/3 অংশের বেশী থাকে এবং পটাশ ফেলসপার 1/3 অংশের কম থাকে।

পৃথিবীর 571 গ্রানাইটের রাসায়নিক বিশ্লেষণ থেকে O. F. Tuttle ও N. L. Bowen (1958) দেখিয়েছেন যে সর্বাপেক্ষা বেশী ক্ষেত্রে যে উপাদানে গ্রানাইট পাথর তৈরী হয় তা হোলঃ—quartz, potash felspar ও albite এই তিন উপাদান প্রায় সমান পরিমাণে থাকে, অর্থাৎ এই তিন উপাদানকে মোট 100 ধরলে প্রত্যেকটি 33·3% এর কাছাকাছি থাকে। এই ধরণের গ্রানাইটিক পাথরকে এডামেলাইট (adamellite) বলা হয়। এডামেলাইট পৃথিবীর বেশীর ভাগ বড় গ্রানাইট অবয়বগুলিকে তৈরী করেছে।

Tuttle এবং Bowen (1958) দেখিয়েছেন যে quartz—orthoclase—albite এই সিসটেম জলযুক্ত অথবা জলশূণ্য অবস্থায় experiment করলে সবচেয়ে কম তাপাঙ্কে যে গলন (melt) তৈরী হয়

তার মধ্যে কোয়ার্টজ, অর্থোক্লেস ও এলবাইট ঐরূপ অনুপাতে থাকে। এই থেকে তাঁরা প্রমাণ করেছেন যে এই পাথর তৈরী হওয়ার সময় Crystal ⇌ Liquid (অর্থাৎ ম্যাগমা)-এর মধ্যে সাম্য অবস্থার (equilibrium) প্রাধান্য ছিল।

মনে রাখা দরকার যে পটাশিক গ্রানাইট (যাকে অনেক সময় কেবল গ্রানাইট বলা হয়ে থাকে) পাথর খুব কম পাওয়া যায়, দ্বিতীয়তঃ Tuttle এবং Bowen এর experimental system এর সর্বনিম্ন তাপাঙ্ক বিশিষ্ট গলনের মত উপাদান পটাশিক গ্রানাইটে থাকে না।

গ্রানাইট গ্রুপের মধ্যে গ্রানোডায়োরাইট এবং টোনালাইট বা কোয়ার্টজ ডায়োরাইট, কোনও কোনও ক্ষেত্রে প্রাধান্য লাভ করে। টোনালাইট (Tonalite) বা কোয়ার্টজ ডায়োরাইট (quartz diorite) পাথরে পটাশ ফেলসপার মোট ফেলসপারের শতকরা মাত্র 10 ভাগ পর্যন্ত তৈরী করে। এ ছাড়া এই গ্রুপের সঙ্গে কোনও কোনও স্থানে ডায়োরাইট (diorite) পাওয়া যায়। প্লুটোনিক পাথরগুলির এই সন্নিবেশ (association) rhyolite—dacite—andesite গ্রুপের plutonic equivalent। এই উভয় সন্নিবেশই যথার্থ (typical) ক্যাল্‌ক-এ্যালকালীন সিরিজ (Calc-alkaline series) এর অন্তর্ভুক্ত।

গ্রানাইটের খনিজ উপাদান

(1) গ্রানাইট পাথরে প্লাগীওক্লেস ফেলসপার এ্যান্ডেসিন অলিগোক্লেস জাতীয়, তবে কোন কোন ক্ষেত্রে এলবাইট পর্যন্ত হতে পারে। প্লাগীওক্লেসের সঙ্গে পটাশ ফেলসপারের দানায় সংযোগ স্থলে myrmekite sructure দেখা দিতে পারে।

(2) পটাশ ফেলসপার সাধারণতঃ অর্থোক্লেশ বা মাইক্রোক্লিন জাতীয় হয়। ভূত্বকের অগভীর স্থানে অনুপ্রবিষ্ট গ্রানাইটিক অবয়বে অনেক সময় সানিডিন (Sanidine) ও অর্থোক্লেসের মাঝামাঝি ধরনের পটাশ ফেলসপার থাকতে পারে।

পটাশ ফেলসপারে কিছু পরিমাণে albite molecule কেলাস দ্রবণ হিসাবে থাকে। এ্যালকালী ফেলসপারে Perthitic structure সচরাচর দেখা যায়; বিশেষকরে ভূত্বকের গভীর অঞ্চলে অনুপ্রবিষ্ট গ্রানাইটের মধ্যে।

(3) কোয়ার্টজ (Low-quartz i.e. a-quartz) গ্রানাইটের একটি বিশিষ্ট উপাদান। (4)মাস্কোভাইট (অভ্র) গ্রানাইটে সচরাচর দেখা যায়। (5) হর্ণব্লেন্ড ও বায়োটাইট হল গ্রানাইটের প্রধান ম্যাফিক খনিজ। অগাইট কম ক্ষেত্রে দেখা যায়। হাইপারস্থিন কোনও কোনও

ক্ষেত্রে পাওয়া যায় এবং চার্ণকাইট (Charnockite suite) এর গ্রানাইটিক পাথরের একটি বিশিষ্ট খনিজ হোল হাইপারস্থিন। (6) এই সব ম্যাফিক খনিজ থেকে পরিবর্তিত হয়ে chlorite তৈরী হয়। (7) গ্রানাইট পাথরে নানারকম আনুষঙ্গিক (accessory) খনিজ পাওয়া যায় ; যেমন zircon, sphene, apatite, tourmaline, allanite, epidote, zoisite, clinozoisite, monazite এবং rutile। (8) Magnetite, hematite, এবং ilmenite আয়রণ ওর (iron ore) খনিজ হিসাবে থাকে। Pyrite, pyrrhotite এবং chalcopyrite ধাতব সালফাইড খনিজ হিসাবে গ্রানাইটের মধ্যে অনেক ক্ষেত্রে থাকে।

(9) যে সব গ্রানাইটে মলিকিউলার অনুপাতিক হার (molecular proportion) অনুসারে $Al_2O_3 > Na_2O + K_2O$ তাদের পারএ্যালকালীন গ্রানাইট (peralkaline granite) বলা হয়।

পারএ্যালকালীন গ্রানাইটে অলিগোক্লেস এ্যান্ডেসিন থাকে না ; এ্যালকালীন ম্যাফিক্ খনিজ পাওয়া যায় যেমন, সোডিক পাইরক্সিন—Aegirine (আইর্জিরিন), সোডিক এমফিবোল—Riebeckite (রীবেকাইট) আরফভেড্সনাইট (Arfvedsonite), ও হেস্টিংসাইট (Hastingsite)। কোনও কোনও গ্রানাইটিক পাথরে ফায়ালাইটিক অলিভিন (fayalitic olivine) পাওয়া যায়।

অনেক গ্রানাইট ম্যাগমা থেকে কেলাসনের সময়ের শেষের দিকে যখন তাপাঙ্ক খুব কম থাকে তখনকার অবশিষ্ট ফ্লুইড (fluid) (তরল ও বাষ্পীয় পদার্থ) দ্বারা পরিবর্তিত হয়ে যেতে পারে। Tourmaline, topaz, fluorite, apatite, cassiterite, wolframite, lepidolite, muscovite, kaolinite এবং calcite এই সব খনিজ যেগুলি গ্রানাইটে পাওয়া যায় তাদের মধ্যে আছে Boron, Fluorine, Chlorine, Tin, Tungsten, Lithium, Phosphorus, Water, Carbon di-oxide—এই সব ভলাটাইল (volatile) পদার্থ। এই থেকে বোঝা যায় যে গ্রানাইট পাথর তৈরীর সময় volatile পদার্থের বিশেষ অবদান আছে।

শর্ল-রক (Schorl rock) একটি পাথর যার মধ্যে কোয়ার্টজ ও টুরম্যালিনের দানার সমাবেশ (aggregate) আছে। নিম্ন তাপাঙ্কে হাইড্রোথারম্যাল সলিউশান থেকে কেলাসিত কোয়ার্টজ শিরার আকারে (quartz vein) স্থানীয় পাথরের মধ্যে তৈরী হতে পারে।

গ্রাইজেন (Greisen) নামে একটি পাথর আছে যার মধ্যে গোড়ায় কেলাসিত খনিজগুলি ভলাটাইল (volatile) পদার্থ দ্বারা পরিবর্তিত হয়ে বর্তমান পাথরটি তৈরী হয়েছে। এই প্রক্রিয়াকে greisening বলা

হয়। এই greisen পাথরে থাকে টিন ও টাঙ্স্টেনযুক্ত ভেন (vein) টোপাজ (topaz), লিথিয়াম মাইকা, ফ্লুয়োরাইট, এ্যাপেটাইট ইত্যাদি। এই পাথরকে গ্রানাইটিক অবয়বের ধারের দিকে পাওয়া যায়; গ্রানাইট থেকে বাহিরের দিকে ভলাটাইল পদার্থ ছড়িয়ে গিয়ে এক একটি পকেট (pocket) তৈরী করে, যাকে বলা হয় কিউপোলা (cupola)। এই কিউপোলার মধ্যেও গ্রাইজেন পাওয়া যায়।

রায়োলাইট (rhyolite), রায়োডেসাইট (rhyodacite), ডেসাইট্ (dacite)

এই পাথরগুলি ভলকানিক (volcanic) পাথর কিন্তু গ্রানাইটের মত উপাদান বিশিষ্ট। এদের মধ্যে কেলাসের উপস্থিতি কম, এবং এরা এফ্যানিটিক্, ক্ষুদ্র দানা বিশিষ্ট, গ্রাউণ্ডমাসে কোয়ার্টজ ও ফেলসপারের দানা ·05 মিঃমিঃ এর থেকে কম ব্যাস বিশিষ্ট। বা সম্পূর্ণ কাঁচ দিয়ে তৈরী (glassy)। obsidian একটি এই রকম সম্পূর্ণ কাঁচের পাথর; এর উপাদান ঠিক rhyolite এর মত। obsidian পাথরের উপরে শাঙ্খিক বিভঙ্গ (Conchoidal fracture) দেখা যায়। আর একটি কাঁচের পাথরের নাম হোল Pitchstone যার উপর পীচের (Pitch) মত lustre দেখা যায়।

রায়োলাইটিক পাথর সাধারণতঃ পর্ফিরিটিক্ কোয়ার্টজ ও ফেলসপারের ফেনোক্রুস্টযুক্ত এবং তার মধ্যে লোহা সমৃদ্ধ পাইরক্সিন, ম্যাগনেটাইট্ ও ফায়ালাইটিক্ অলিভিন—এই সব খনিজের বিরল ফেনোক্রুস্ট দেখা যেতে পারে। রায়োলাইটে সাধারণতঃ ফ্লো স্ট্রাক্চার ও স্ফেরুলিটিক্ স্ট্রাক্চার দেখা যায়। কাঁচ সমৃদ্ধ পাথরে পারলাইটিক্ স্ট্রাকচার দেখা যায়।

এই ধরণের এফ্যানিটিক পাথর অর্থাৎ যার দানা খালি চোখে দেখা যায় না, সঠিক চিনতে হোলে রাসায়নিক বিশ্লেষণ থেকে নরমাটিভ উপাদানগুলি হিসাব করতে হয়। রায়োলাইটে কোয়ার্টজ ও পটাশ ফেলসপারের ফেনোক্রুষ্ট সাধারণতঃ দেখা যেতে পারে; কোয়ার্টজের থেকে অনেক বেশী প্লাগীওক্লেস ফেনোক্রুস্ট থাকলে ডেসাইট্ পাথর হতে পারে, তবে কোনও কোনও ক্ষেত্রে রায়োলাইটে প্লাগীওক্লেস ফেলসপার ফেনোক্রুস্ট তৈরী করতে পারে।

এডামেলাইটের মত উপাদান বিশিষ্ট রায়োলাইট পাথর সচরাচর দেখা যায় এবং এদের রায়োডেসাইট্ বলা হয়। Tuttle and Bowen (1958) দেখিয়েছেন যে এ্যাসিড্ ভলকানিক পাথরের রাসায়নিক বিশ্লেষণ থেকে জানতে পারা যায় যে তারা বিপুল সংখ্যায় রায়োডে-

সাইট্ এর উপাদান বিশিষ্ট। গ্রানোডায়োরাইটের মত উপাদানযুক্ত পাথরকে বলা হয় ডেসাইট্ (dacite) : এর মধ্যে কোয়ার্টজ এবং প্লাগিওক্লেস থাকে এবং এরা এ্যাণ্ডেসাইটের মত দেখতে হয়।

রায়োলাইটিক পাথরের কোন কোনও পাথর Sodic (পার এলক্যালীন) এবং anorthoclase, aegirine-augite এবং একটি খুব বিরল ধরণের এলক্যালী এম্ফিবোল—যার নাম crossyrite এরকম পাথরে থাকে তাকে বলা হয় pantellerite। এই রকম ধরণের আর একটি এ্যালক্যালী রায়োলাইট হোল comendite, এই পাথরে আছে aegirine, arfvedsonite এবং riebeckite.; এই ধরণের পাথর ভূমধ্যসাগরের কয়েকটি দ্বীপে বিশেষ করে পাওয়া যায়।

অনেক রায়োলাইট, অবসিডিয়ান এবং পীচ স্টোন devitrified হয়েছে; তার ফলে এই সব পাথরের গ্রাউণ্ডমাস মাইক্রো-কৃস্টালিন বা কৃপ্টোকৃস্টালিন হয়েছে ও একটি ফেলসাইট্ (Felsite) পাথর তৈরী করেছে। কোনও কোনও রায়োলাইট এবং ফেলসাইটের মধ্যে কোয়ার্টজ-এলক্যালী ফেলসপারের ছটাকার intergrowth দিয়ে তৈরী স্ফেরুলিটিক স্ট্রাকচার দেখা যায়।

বহু রায়োলাইট পাথরে কোয়ার্টজ ফেনোকৃষ্ট high quartz (β quartz) দিয়ে তৈরী হয়েছিল। অনেক রায়োলাইটের এ্যালকালী ফেলসপার সানিডিন অথবা সানিডিন ও অর্থোক্লেসের মাঝামাঝি বৈশিষ্ট্যযুক্ত। রায়োলাইটে ফেনোকৃষ্টগুলি ম্যাগমাটিক্ resorption এর ফলে ক্ষয় হয়ে যেতে (corroded হতে) পারে।

রায়োলাইট পাথর (1) অনেক Calc-alkaline Volcanic এলাকাতে এ্যাণ্ডেসাইট ও ডেসাইটের সঙ্গে লাভা হিসাবে পাওয়া যায়. (2) রিং—ডাইকযুক্ত igneous complex এ ডাইক হিসাবে পাওয়া যায়, (3) নিঃসারী পাথর (লাভা ফ্লো) হিসাবে (4) ব্যাসল্টের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট acid লাভা ফ্লো হিসাবে পাওয়া যায়, এবং (5) shallow depth অর্থাৎ অগভীর ভূগর্ভে অনুপ্রবেশকারী গ্রানাইট বডির সঙ্গে সংশ্লিষ্ট থাকতে পারে।

অনেক এলাকাতে acid volcanism এর সঙ্গে বিশাল পরিমাণে টাফ্ জাতীয় পদার্থ (tuffaceous material) অথবা ভলকানিক এ্যাশ্ (Volcanic ash) নির্গত হয়। কোন কোনক্ষেত্রে ভলকানিক tuff জাতীয় পদার্থ ভূপৃষ্ঠে নির্গত হওয়ার সময় উচ্চতাপাঙ্কে এবং উচ্চচাপে ফ্লুইডের (অর্থাৎ gas+meltএর) সঙ্গে মিশ্রিত থাকে এবং এর ফলে glowing avalanche deposit অথবা *neuee ardente* জাতীয় অবক্ষেপের উৎপত্তি হতে পারে। Tuffaceous পদার্থের মধ্যে

যদি বক্রাকার কাঁচের কণা থাকে সেগুলি ঐ অবস্থায় আংশিক গলিত হয়ে চাপের ফলে চেপ্টা হয়ে গিয়ে welded হয় ও কঠিন পাথর তৈরী

চিত্র 45

ওয়েলডেড্ টাফ্ পাথরে Y-আকারের ভলকানিক কাঁচের কণা ও অন্যান্য পাইরোক্লাস্টিক কণা চাপ ও তাপে সামান্য গলিত হয়ে কঠিন পাথর তৈরী করেছে। প্রবাহ চিহ্ন লক্ষণীয়।

Yellowstone National Park. U. S. A. (F. R. Boyd, 1962, অনুসারে)।

হয় তার নাম হোল welded tuff বা ignimbrite অথবা ash flow tuff। (ছবি 45)।

সায়েনাইট (Syenite) ও নেফিলিন সায়ানাইট (Nepheline Syenite)

সায়ানাইট ও নেফিলিন সায়ানাইট জাতীয় পাথর যথাক্রমে এলক্যালী ফেলসপার ও এলক্যালী ফেলসপার + নেফিলিন দিয়ে প্রধানতঃ তৈরী। এই ধরণের পাথর মাঝারী বা বড় দানাযুক্ত হয়। এরা হিপইডিও-মর্ফিক বা জেনোমর্ফিক গ্রানুলার টেক্সচারযুক্ত পাথর। সায়ানাইট পাথর সাধারণতঃ ছোট স্টক্, প্লাগ সিল বা ডাইক তৈরী করে এবং গ্রানাইট ব্যাথলিথের সংগে সংশ্লিষ্ট থাকতে পারে।

নেফিলিনযুক্ত পাথর, গ্রানাইট পাথর বা ব্যাসল্ট্-এর তুলনায় খুব বিরল। এই পাথর সাধারণতঃ ছোট স্টক্ (যেমন দক্ষিণ ভারতের শিবামালাই নেফিলিন সায়ানাইট বডি), প্লাগ বা ডাইক হতে পারে —যেমন অগভীর অঞ্চলে ভলকানিক পাথরের সংগে সংশ্লিষ্ট রিং

ডাইক এলাকাতে, যেমন গুজরাটের গিরনার পাহাড়ে পাওয়া যায়। তাছাড়া প্রিক্যাম্ব্রিয়ান যুগের মেটামর্ফিক অঞ্চলে নেফিলিনযুক্ত ব্যান্ডেড্ (banded) অথবা নাইসিক (gneissic) পাথর হিসাবেও পাওয়া যায়, যেমন আছে রাজস্থানের কিষাণগড়ে।

সায়ানাইট পাথরের প্রধান উপাদান এলক্যালী ফেলসপার অর্থাৎ orthoclase ও albite এর কেলাস দ্রবণ। এই খনিজের দানাগুলি homogeneous হতে পারে বা perthitic হতে পারে (চিত্র—7) এ ছাড়া কিছু কোয়ার্টজ বা প্লাগীওক্লেস থাকতে পারে। হর্নব্লেড, বায়োটাইট বা অগাইট্ ম্যাফিক মিনারাল হিসাবে এই পাথরে থাকতে পারে। যে সব সায়ানাইট প্লাগীওক্লেস-বিহীন তাদের এলক্যালী সায়ানাইট বলা হয়। Nordmarkite একটি এই জাতীয় সায়ানাইট পাথর ; এর মধ্যে 80—90% পার্থাইট (পটাশ ফেলসপারের দানার মধ্যে এলবাইটের বহু আণুবীক্ষণিক পাতলা পাত, lamellae) বিশিষ্ট, 5—8% ভাগ কোয়ার্টজ এবং ম্যাফিক খনিজ aegirine-augite বা arfvedsonite বা riebeckite থাকতে পারে। এই জাতীয় পাথরে সামান্য নেফিলিন থাকলে তাকে বলা হয় pulaskite।

Larvikite কালচে ঘন নীল রংয়ের একটি পাথর। এতে শতকরা 80—90 ভাগ যে ফেলসপার থাকে তাতে রংয়ের ছটা খেলে (অর্থাৎ এগুলি Schillerized felspar)। এগুলি antiperthite অর্থাৎ anorthoclase বা oligoclase এর মধ্যে এলক্যালী ফেলসপারের পার্থাইট্ গঠনযুক্ত ফেলসপার। আর থাকে diopsidic-augite, barkevikite জাতীয় এম্ফিবোল এবং লেপিডোমেলান জাতীয় বায়োটাইট মাইকা। কোন কোন লারভিকাইটে সামান্য ফেল্সপ্যাথয়েড থাকতে পারে। নেফিলিনের পরিমাণ শতকরা 10 এর বেশী হলে এই রকম পাথরকে লারডালাইট (Lardalite) বলা হয়। ম্যাফিক খনিজ ডাইঅপসাইডিক অগাইট, বার্কেভিকাইট এবং লেপিডোমেলান থাকে।

পারএলুমিনাস এলক্যালী সায়ানাইটে এলক্যালী ফেলসপার, বায়োটাইট, মাস্কোভাইট অভ্র, কোরাণ্ডাম্ ও স্পিনেল থাকে। পার-এলক্যালীন এলক্যালী সায়ানাইটে এলক্যালী ফেলসপার, আর্ফভেডসনাইট, আইর্জিরিন থাকে। এলক্যালী লাইম সায়ানাইট অথবা অর্থোসায়ানাইটে পটাশ ফেলসপার (পার্থাইট) থাকে প্লাগীওক্লেসের (oligoclase or andesine) এর দুগুণ পরিমাণে। মাইক্রোসায়ানাইটে এলক্যালী ফেলসপারের উচ্চ তাপাঙ্কের পলিমর্ফ্—সোডা সানিডিন দেখতে পাওয়া যায়।

Perthosite একটি sodipotassic leucosyenite, এর মধ্যে বেশীর ভাগই হোল পার্থাইটিক ফেলসপার, শুধু তার মধ্যে মাত্র 5 ভাগ ম্যাফিক খনিজ থাকে।

Foyaite একটি nepheline syenite যার মধ্যে এলক্যালী ফেলসপার এবং নেফিলিন প্রায় সমান পরিমাণে প্রধান উপাদান হিসাবে পাথরে আছে। আইজিরিন-অগাইট এর প্রধান ম্যাফিক খনিজ।

Litchfieldite একরকম নেফিলিন সায়ানাইট যার মধ্যে নেফিলিন এবং দুরকম এলক্যালী ফেলসপার আছে, যথা এলবাইট এবং অর্থোক্লেস (বা মাইক্রোক্লীন)। পটাশ ফেলসপার এলবাইটের থেকে কম থাকে এবং এই পাথরে ফিকে হলদে cancrinite এবং সাদা সোডালাইট থাকে। এই পাথরের ম্যাফিক খনিজ হোল লেপিডোমেলান মাইকা। সোডালাইট অথবা নোসিয়েন অল্প পরিমাণে বহু নেফিলিন যুক্ত সায়ানাইট পাথরে থাকে, তবে সোডালাইট যুক্ত নেফিলিন সায়ানাইট পাথর, Ditroite, তাতে সোডালাইট এলক্যালী ফেলসপার অথবা নেফিলিনের মতই প্রধান হিসাবে গণ্য হয়।

নেফিলিন সায়ানাইটের উপাদানকে SiO_2-$NaAlSiO_4$-$KAlSiO_4$ (Quartz-Nepheline-Kalsilite system) (চিত্র—32) এর মধ্যে নির্দেশ করা যায়। এই system এ নেফিলিন সায়ানাইটের উপাদান নিচু তাপাঙ্কের উপত্যকা অর্থাৎ এলক্যালী ফেলসপার ও নেফিলিনের কোটেক্‌টিক্‌ (cotectic) লাইনের উপরে পড়ে। স্বাভাবিক পাথরে যে নেফিলিন পাওয়া যায় সেইটা নেফিলিন (nepheline) ও ক্যালসিলাইটের (Kalsilite) কেলাস দ্রবণ হলেও তাতে অল্প পরিমাণে সিলিকা থাকে। প্রায় সব প্লুটনিক পাথরে নেফিলিনের উপাদান Nepheline 75%, Kalsilite 21%, Quartz 4%। সাধারণতঃ কেলাসনের তাপাঙ্ক বেশী হলে নেফিলিন সলিড-সলিউসানের মধ্যে বেশী সিলিকা থাকে। পার্থাইটের উপস্থিতিতে বোঝা যায় যে উচ্চ তাপাঙ্কে এলক্যালী ফেলসপার homogeneous solid solution হিসাবে তৈরী হয়েছিল, কিন্তু ঠাণ্ডা হওয়ার সময় নীচু তাপাঙ্কে এলে এই solid solution থেকে এক জাতীয় এলক্যালী ফেলসপারের মধ্যে অন্য জাতীয় এলক্যালী ফেলসপার exsolved হয়ে বহু পাতলা পাত (lamellae) তৈরী করে। (7 সংখ্যক ছবিতে অর্থোক্লেশের (lamellae) দেখা যায়)।

রাসায়নিক দিক থেকে দেখা যায় যে নেফিলিন সায়ানাইটে বেশী Na_2O+K_2O কম SiO_2 (সিলিকা), কম $CaO+FeO+MgO$ থাকে। বেশী থাকে ভলাটাইল উপাদান (Volatile constituents), যেমন Phosphorus, Chlorine, Fluorine ও বিরল মৌলিক পদার্থ যেমন

Zirconium, Titanium, Niobium, Tantalum এবং বিরল-মাটির ধাতুগুলি (Rare-earth metals)। এলক্যালী সায়ানাইট পাথরে স্ফীন্, এপাটাইট, জারকন্ এবং আয়রণ ওর accessory খনিজ হিসাবে থাকে।

Leucite syenite পাথরে লিউসাইটের icositetrahedral আকারের কেলাস থাকে—এবং এগুলি অর্থোক্লেস ও নেফিলিনের ছোট ছোট দানার তৈরী pseudomorph-এ পরিণত হয়ে থাকে। এই পাথরের বাকী অংশ ইউহেড্রাল নেফিলিন, অর্থোক্লেস, আইজিরিন, ডাইঅপ্সাইড ও বায়োটাইট।

যে এলক্যালী সায়ানাইটে খুব বেশী পরিমাণে ম্যাফিক থাকে তাকে শঙ্কিনাইট (shonkinite) বলা হয়। অগাইট, অর্থোক্লেশ, অলিভিন এবং বায়োটাইট এর প্রধান খনিজ এবং নেফিলিনের অতি সামান্য পরিমাণ উপস্থিতি এর মধ্যে থাকতে পারে।

যদি প্লাগীয়ক্লেস An_{50-70} হয় তাহলে নেফিলিনযুক্ত এবং ম্যাফিক-সমৃদ্ধ প্লুটনিক পাথরকে থেরালাইট (Theralite) বলে। এই পাথরে ম্যাফিক খনিজগুলি হোল টাইটান্অগাইট, বার্কেভিকাইট, অলিভিন এবং বায়োটাইট। এই ধরণের পাথরে নেফিলিনের জায়গায় এনালসাইট থাকলে ঐ রকম পাথরকে টেশেনাইট (Teschenite) বলা হয়। এই পাথর দুটির টেক্সচার ডলেরাইট বা গ্যাব্রোর মত। Ijolite একটি মেলানোক্রাটিক পাথর; এর মধ্যে নেফিলিন আছে তবে এটি এলক্যালী পাইরক্সিন ও এলক্যালী এমফিবোলে যথেষ্ট সমৃদ্ধ।

ট্রাকাইট (Trachyte) ও ফোনোলাইট (Phonolite)

এলক্যালী ফেলসপার সমৃদ্ধ এবং সায়ানাইটের মত উপাদান বিশিষ্ট লাভার মত পাথরকে ট্রাকাইট (trachyte) বলা হয়। এই পাথর লাভা ফ্লো বা ছোট প্লাগ আকারে থাকে। (1) এই রকম পাথরে সিলিকা অতিরিক্ত থাকলে কোয়ার্টজ-ট্রাকাইট বলে। (2) যে পাথর ঠিক সিলিকা সম্পৃক্ত, তার মধ্যে কোয়ার্টজ থাকে না আবার ফেলসপাথয়েড খনিজও থাকে না—এদের অর্থোট্রাকাইট (Ortho-trachyte) বলা হয়। (3) ট্রাকাইট (trachyte) পাথরে এলক্যালী ফেলসপার (সানিডিন) ফেনোক্রস্ট হিসাবে থাকে এবং তার চারধারে গ্রাউন্ডমাসে থাকে এলক্যালী ফেলসপারের ছোট ছোট মাইক্রোলাইট। এই মাইক্রোলাইটগুলি লাভা প্রবাহিত হওয়ার সময় প্রবাহের সঙ্গে সমান্তরাল হয়ে সন্বিত থাকে, এজন্য খুব সুন্দর ফ্লো-স্ট্রাকচার তৈরী করে (ছবি—34B)। ট্রাকাইটের ম্যাফিক খনিজ বায়োটাইট, অগাইট ও হর্ণব্লেন্ড।

ফোনোলাইট (phonolite) একটি লাভা পাথর। এর মধ্যে নেফিলিন প্রধান খনিজ এবং এই পাথরের উপাদান নেফিলিন সায়ানাইটের মত।

লিউসাইটযুক্ত ট্রাকাইটও বিরল পাথর হিসাবে পাওয়া যায়। নেফিলিনযুক্ত ট্রাকাইটে নেফিলিন ছাড়া এলক্যালী ফেলসপারও থাকে, এবং এলক্যালী পাইরক্সিন ও এমফিবোল থাকে। এর টেক্সচার পরফিরিটিক কারণ নেফিলিন ও ফেলসপার ফেনোক্রস্ট হিসাবে থাকে।

কোন কোন ফোনোলাইটে অন্য ফেলসপাথয়েড—যেমন নোসিয়েন (nosean), হয়য়েন (hauyne) থাকতে পারে। লিউসাইট ফেনোলাইট একটি লিউসাইটযুক্ত ফোনোলাইট, এবং যাতে লিউসাইট খুব বেশী থাকলে তাকে লুউসিটোফায়ার (leucitophyre) বলা হয়।

নেফিলিন সায়ানাইট ও সংশ্লিষ্ট পাথরের উৎপত্তি (Origin *of nepheline syenite and associated rocks*)

নেফিলিন সায়ানাইট জাতীয় পাথরের উৎপত্তি সম্বন্ধে বর্তমানে নিম্নোক্ত ধারায় চিন্তা করা হয়। (1) Alkaline olivine basalt ম্যাগমার ডিফারেন্সিয়েশান থেকে এই পাথর তৈরী হতে পারে ; যেসব জায়গায় ভূত্বক দীর্ঘকাল স্থির হয়ে থাকে বিশেষতঃ সেখানে এই রকম ডিফারেন্সিয়েশান সম্ভব হয়। (কোনও কোনও বৈজ্ঞানিক মনে করেন যে সিলিকা সম্পৃক্ত ম্যাগমা থেকেও ঐরূপ হতে পারে)। (2) গভীর ভূত্বকে বা ম্যান্টল্ এর উপর অঞ্চলে Alkaline olivine basalt পাথরের আংশিক গলিত (partial melting) হওয়ার ফলে নেফিলিন সায়ানাইট ধরণের ম্যাগমা তৈরী হতে পারে।

(3) কোনো ম্যাগমার বিশাল magma chamber এ এলক্যালী ও অন্যান্য ভলাটাইল পদার্থ differential movement এর ফলে উপরদিকে সঞ্চিত হয়ে ঐ রকম ম্যাগমা তৈরী করতে পারে।

(4) গ্রানাইট বা গ্রানোডায়োরাইট ম্যাগমার ডিসিলিকেশান (desilication) অর্থাৎ সিলিকা দূরীভূত হওয়ার ফলে এই রকম ম্যাগমা তৈরী হতে পারে। চুনাপাথরের সংগে গ্রানাইট বা গ্রানোডায়োরাইট ম্যাগমার বিক্রিয়ার ফলে lime silicate খনিজগুলি তৈরী হতে পরে—যেমন গারনেট্, ওলাস্টনাইট (wollastonite), এপিডোট্ ইত্যাদি। এই lime silicate খনিজগুলি ভারী হওয়ায় ম্যাগমার মধ্যে ডুবে গেলে উপর দিকে desilicated এলক্যালীক্ ম্যাগমা তৈরী হতে পারে। একে Limestone syntexis hypothesis বলা হয়।

(5) নেফিলিন যুক্ত ম্যাগমার (যেমন Theralite) থেকে নির্গত হয়ে আসা solution ক্রস্টালিন চুনাপাথরের metasomatism ঘটাতে পারে; এবং তার ফলে নেফিলিন সায়ানাইট নাইস তৈরী হতে পারে।

পেগমাটাইট (Pegmatite) **এবং এপ্‌লাইট** (Aplite)

প্রায় সব পেগমাটাইট খুব বড় দানা যুক্ত পাথর. এমনকি কয়েক মিটার লম্বা কেলাস পেগমাটাইটের মধ্যে পাওয়া যায়। পেগমাটাইটে খনিজগুলির মধ্যে পরস্পর অন্তবর্তী দানা (intergrowth) দেখা যেতে পারে। পেগমাটাইট ছোট ডাইক, সিট্ বা লেন্স তৈরী করে. প্লুটনিক পাথর বা নাইস (gneiss) পাথরের মধ্যে থাকে। যে প্লুটনিক পাথরের অবয়বের মধ্যে পেগমাটাইট আছে তার খনিজ সমবায়ের মতই পেগমাটাইটের খনিজ থাকে। গ্রানাইটিক পাথরের সঙ্গে থাকা পেগমাটাইটে এ্যালকালী ফেলসপার কোয়ার্টজ প্রধানতঃ থাকে. তা ছাড়া অভ্র. টুরম্যালিন (tourmaline). টোপাজ (topaz). বেরিল (beryl). ফ্লুওরাইট (fluorite). এপেটাইট (apatite). লিথিয়া মাইকা (lithia-mica) পাওয়া যায়—এইগুলি বিরল ও সহজ নির্গত হয় (volatile) এমন ম্যাগমাটিক পদার্থে তৈরী। এছাড়া tin, molybdenum, copper, arsenic, bismuth, niobium, uranium, এবং radium ইত্যাদি গ্রানাইট পেগমাটাইটের মধ্যে পাওয়া যায়।

নেফিলিন সায়ানাইট অথবা সায়ানাইটের সঙ্গেও পেগমাটাইট পাওয়া যায়। এর মধ্যে zirconium, lanthanum ও বিরল মৃত্তিকা মৌলিক পদার্থ (rare-earth elements) যেমন cerium পাওয়া যায়। তাছাড়া গ্যাব্রো অবয়বের সঙ্গে পেগমাটাইট থাকতে পারে।

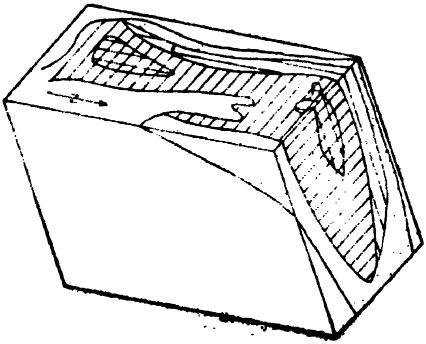
উপরোক্ত বিবরণ থেকে বোঝা যাবে যে ম্যাগমায় কেলাসনের সময় অবশিষ্টাংশ খুব ভলাটাইল পদার্থে সমৃদ্ধ হলে পেগমাটাইটের কেলাসন হয়।

কোনও কোনও পেগমাটাইট অবয়বের সীমানা থেকে ভিতর পর্যন্ত খনিজগুলি এক একটি বিভিন্ন রকমের অঞ্চল তৈরী করে (Zoned pegmatites)। অনেক পেগমাটাইটের Border zone এ ছোট দানা ও পরস্পর-অন্তর্বর্তী (intergrowth) দানা দেখা যায়। মধ্যবর্তী Core খুব বড় দানাযুক্ত এবং অনেক সময় বিরল খনিজযুক্ত হয়। সীমানা এলাকা ও মধ্যবর্তী এলাকার মাঝামাঝি Intermediate zone থাকতে পারে (চিত্র 46)।

এপ্‌লাইট (Aplite) ছোট ও সমাকৃতি দানাযুক্ত পাথর, এবং দানাগুলি এলোট্রিওমর্ফিক (allotriomorphic) গ্রথন দেখায়। এপ্‌লাইট সাধারণতঃ প্লুটনিক পাথর বা স্থানীয় পাথরের মধ্যে ছোট শিরা (vein) বা ডাইক (dyke) তৈরী করে। গ্রানাইটিক এপ্‌লাইটের মধ্যে কোয়ার্টজ, এ্যালকালী ফেলসপার ও কম ক্ষেত্রে মাসকোভাইট

(muscovite), ফ্লুওরাইট (fluorite), টুরম্যালিন (tourmaline), টোপাজ (topaz) ইত্যাদি পাওয়া যায়।

O. F. Tuttle এবং N. L. Bowen (1958) পরীক্ষা করে দেখিয়েছেন যে ম্যাগমায় অধিক পরিমাণে এ্যালকালী ও সিলিকা থাকলে জল বেশী পরিমাণে মিশ্রিত হতে পারে। তার ফলে এই ম্যাগমা 600° ডিগ্রীর কম তাপাঙ্কেও তরল অবস্থায় থাকতে পারে। ঐরূপ জল-সমৃদ্ধ ম্যাগমা থেকে নীচু তাপাঙ্কে পেগমাটাইট তৈরী হতে পারে।



চিত্র 46

বিহার মাইকা বেল্টের একটি গ্রানাইট পেগমাটাইটের গঠন।

পেগমাটাইটের বহিঃঅঞ্চল (মাসকোভাইট—প্লাগীয়ক্লেস—মাইক্রোক্লাইন পেগমাটাইট—ফুটকী চিহ্নযুক্ত) ও মধ্যের অঞ্চল (মাসকোভাইট—প্লাগায়ক্লেস—কোয়ার্টজ পেগমাটাইট—অনুভূমিক সরলরেখা চিহ্নযুক্ত) ও তার মধ্যে আছে মূল্যবান রুবী মাইকা যুক্ত (পকেটের মত) অংশ। এই দুই প্রধান অঞ্চলের মধ্যে পশ্চিমদিকে আছে কোয়ার্টজ—মাসকোভাইট পেগমাটাইটের একটি ইণ্টারমিডিয়েট জোন। চিত্রে দৈর্ঘ্য × প্রস্থ × গভীরতা—12 × 9 × 15 মিটার। (T. Mahadevan ও R. Maithani, 1966 অনুসারে)।

R. H. Jahns এবং C. W. Burnham (1957, 1959) গবেষণাগারে পরীক্ষা করে দেখিয়েছেন যে গ্রানাইটিক গলনে জল থাকলে কিছু কেলাসন হওয়ার পর অবশিষ্ট গলনের মধ্যে জলের অনুপাত বাড়তে থাকে এবং তার ফলে এক সময় জল-সমৃদ্ধ গ্যাস তৈরী হয়। এই সময় কোয়ার্টজ ফেলসপার ইত্যাদি বড় (pegmatitic) কেলাস

তৈরী করে। চাপ বেশী থাকলে জল-সমৃদ্ধ পদার্থ আলাদা হওয়ার সুযোগ পায় না, তখন কেলাসিত পদার্থ চিনির মত (sugary) দানাযুক্ত এপ্‌লাইটিক গ্রথন (aplitic texture) তৈরী করে। রূপান্তরিত পাথরেও পেগমাটাইট তৈরী হতে পারে যদি ঐ রূপান্তরিত পাথর আংশিকভাবে গলিত হয়ে একটি জল-সমৃদ্ধ ফ্লুইড তৈরী করতে পারে।

ল্যাম্‌প্রোফায়ার (Lamprophyre)

এই আগ্নেয় পাথরগুলি সাধারণতঃ ছোট ডাইক বা সিল আকারের উদবেধী অবয়ব তৈরী করে। এরা গভীর বা কাল রঙের পাথর এবং মেলানোক্রাটিক অথবা মোসোক্রাটিক হতে পারে। এদের গ্রথন পর-ফিরিটিক এবং প্যানইডিওমার্ফিক। ম্যাফিক খনিজগুলির মধ্যে বায়োটাইট, হর্নব্লেন্ড ও অগাইট আছে—এই খনিজগুলি ইউহেড্রাল আকারে থাকে অনেক ল্যাম্‌প্রোফায়ারে ফেলসপার থাকে না অথবা কেলাসের মধ্যের জমিতেই শুধু থাকে।

ল্যাম্‌প্রোফায়ার বহুস্থানে প্লুটনিক পাথরের সঙ্গে উৎপত্তি-সম্পর্কযুক্ত হয়; তাছাড়া অন্যত্র ভলকানিক পাথরের সংগে সম্পর্কযুক্ত হতে পারে। পশ্চিমবঙ্গের রানীগঞ্জের কয়লাখনি অঞ্চলে ও দার্জিলিং এর গণ্ডোয়ানা যুগের পাথরে এবং বিহারের ঝরিয়া কয়লা খনি অঞ্চলে বায়োটাইট ল্যামপ্রোফায়ার ছোট ডাইকের ঝাঁক (dyke swarms) অথবা সিল আকারে গণ্ডেয়ানা পাললিক পাথরের স্তরের মধ্যে উদবেধী অবয়ব তৈরী করেছে। এই স্থানগুলির ল্যাম্‌প্রোফায়ার পাথরে ইউ-হেড্রাল অলিভিন ও বায়োটাইট প্রধান ম্যাফিক খনিজ অলিভিন প্রায় সবক্ষেত্রে পরিবর্তিত হয়ে সারপেণ্টিন তৈরী হয়েছে এবং ফেনোক্রস্ট হিসাবে থাকে। বায়োটাইটের ইউহেড্রাল কেলাসগুলি জোনযুক্ত হতে পারে। অল্প পরিমাণে পটাশ ফেলসপার ও প্লাগীওক্লেস থাকতে পারে। কোন কোন বায়োটাইট ল্যামপ্রোফায়ারে লিউসাইট দেখা যায়। এ্যালকালী এমফিবোল ও ডাইঅপসাইডিক পাইরক্সিন এই পাথরে থাকতে পারে। এপেটাইট ও কার্বনেট খনিজ এই পাথরে সবক্ষেত্রে কিছু পরিমাণে থাকে। ফেনোক্রস্ট হিসাবে কোয়ার্টজ পাওয়া যায়। ল্যাম্‌প্রোফায়ার

পাথরগুলিকে প্রধান ম্যাফিক খনিজ এবং ফেলসপার অনুসারে Rosenbusch শ্রেণীবিভাগ করেছেন।

প্রধান ম্যাফিক খনিজ	অর্থোক্লেস প্রধান ফেলসপার	প্লাগীওক্লেস প্রধান ফেলসপার	ফেলসপার বিহীন
বায়োটাইট	মিনেট Minette	কারসানটাইট Kersantite	এলনোআইট Alnoite (মেলিলাইট থাকে)
অগাইট অথবা (এবং) হর্ণব্লেণ্ড	ভোজেসাইট Vogesite	স্পেসারটাইট Spessartite	
এ্যালকালী পাইরক্সিন অথবা (এবং) এম্‌ফিবোল		ক্যাম্পটনাইট Camptonite	মনচিকাইট Monchiquite

এই শ্রেণীবিভাগ থেকে উৎপত্তির দিক থেকে পাথরগুলির সম্পর্ক জানা যায়; যেমন অর্থোক্লেসযুক্ত পাথরগুলি গ্রানাইটের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট থাকতে পারে; প্লাগীওক্লেসযুক্ত পাথরগুলি ডায়োরাইটের সঙ্গে এবং ক্যাম্পটনাইট ও মনচিকাইট পাথর নেফিলিন সায়ানাইট বা অন্য সোডিক পাথরের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট থাকতে পারে।

ল্যাম্‌প্রোফায়ার যে ম্যাগমা থেকে উৎপন্ন হয়েছে তার মধ্যে কার্বন-ডাই অক্সাইড্, সালফার, ফসফোরাস, ও জলীয় বাষ্প যথেষ্ট পরিমাণে থাকে এইজন্য এই পাথরে কার্বনেট, সালফাইড, এপেটাইট, সারপেণ্টিন, ফ্লোরাইড ও জীওলাইট তৈরী হয়। রাসায়নিক উপাদানগুলির বিশেষত্ব (1) SiO_2 কম থাকে, (2) Na_2O, K_2O, TiO_2, BaO, SrO, P_2O_5 বেশী থাকে, যেমন থাকে এ্যালকালী অলিভিন ব্যাসল্ট ম্যাগমাতে।

সপ্তম অধ্যায়

আগ্নেয় পাথরের বিবর্তনের প্রধান প্রধান পদ্ধতি

ডিফারেন্সিয়েশান (Differentiation) বা ব্যামিশ্রণ

পাথরের উপাদান বিশিষ্ট একটি উত্তপ্ত ও গতিশীল সিলিকেট গলন (silicate melt)কে ম্যাগমা (magma) বলে। অল্পবিস্তর কিছু কেলাস ম্যাগমার মধ্যে থাকে। কেলাসিত হতে থাকার সময় তরল পদার্থের পরিমাণ কমে গেলেও যতক্ষণ পর্যন্ত গতিশীলতা থাকে ততক্ষণ এই পদার্থকে ম্যাগমা বলা হয়।

একটি সমসত্ব (homogeneous) ম্যাগমা থেকে একাধিক সংখ্যক বিভিন্ন পাথর তৈরী হতে পারে। যেসব পদ্ধতি দিয়ে এই রকম হয় তাদের সবগুলি ম্যাগমাটিক ডিফারেন্সিয়েশানের অন্তর্ভুক্ত। "Magmatic differentiation includes all processes by which a broadly homogeneous magma breaks up into contrasted fractions which ultimately form rocks of different compositions." (F. J. Turner and J. Verhoogen, 1960)

সিলিকেট ম্যাগমাতে ব্যামিশ্রণ অর্থাৎ ডিফারেন্সিয়েশান হওয়ার পদ্ধতিগুলি নীচে দেওয়া হোল ঃ

(1) ম্যাগমা সমস্তটা তরল থাকা অবস্থায় তার মধ্যে ভারী এ্যাটম বা মলিকিউলগুলি ডুবে গিয়ে গভীর অঞ্চলে সঞ্চিত হতে পারে। তবে ম্যাগমার সান্দ্রতা (viscosity) বেশী হওয়ার জন্য এ্যাটমের চলাচল খুবই শ্লথ গতিতে হয়, তাই এ পদ্ধতি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ নয়।

(2) কোনও কোনও তরল পদার্থ একটি অবস্থায় সম্পূর্ণ সমসত্ত্বতা-যুক্ত (homogeneous) হলেও ঠান্ডা হওয়ায় সময় নীচু তাপাঙ্কে দুইটি অমিশ্রণীয় (immiscible) তরল পদার্থের অংশে পরিণত হতে পারে। অমিশ্রণীয় কথার অর্থ হোল এই যে ঐ দুই তরল পদার্থের মধ্যে কোনও রকম মিশ্রণ হতে পারে না। যেমন জল ও তৈল দুটি পরস্পরের সঙ্গে অমিশ্রণীয় তরল পদার্থ।

মনে করা যেতে পারে যে একটি সমসত্ব তরল ম্যাগমা থেকে দুই অমিশ্রণীয় বেসিক ও এ্যাসিড তরল পদার্থ সৃষ্টি হোল। তার থেকে বেসিক পাথর ও এ্যাসিড পাথর তৈরী হতে পারে। N. L. Bowen দেখিয়েছিলেন যে সাধারণতঃ এইরূপ হওয়া সম্ভব নয়, কারণ যে তাপাঙ্কে

ঐরূপ অমিশ্রণ হয় তা খুবই উচ্চ। সম্প্রতি চাঁদের ব্যাসল্ট পাথরে ও পৃথিবীর কোন কোন পাথরে দুই অমিশ্রণীয় তরল পদার্থ তৈরী হয়েছিল তার সাক্ষ্য পাওয়া গেছে ঃ যথা, ডেকান ট্রাপস্ (চিত্র 4)।

(3) ম্যাগমার মধ্যে গ্যাস তলা থেকে উপরে যেতে পারে এবং তার সঙ্গে দ্রবীভূত হয় এমন পদার্থ যেমন এ্যালকালী ইত্যাদি ম্যাগমায় এক অংশ থেকে অন্য অংশে পরিবাহিত হতে পারে।

(4) ম্যাগমার অবয়বের এক অঞ্চল থেকে অন্য অঞ্চল কম তাপাঙ্কযুক্ত ও কম চাপযুক্ত হলে তার মধ্যের জল বা অন্য গ্যাসীয় পদার্থ নীচু চাপযুক্ত এবং নীচু তাপাঙ্কযুক্ত অঞ্চলে বেশী সঞ্চিত হয়; এভাবে জল ও তার সঙ্গে এ্যালকালী ইত্যাদি পরিবাহিত হতে পারে।

(5) কেলাসন আরম্ভ হলে কেলাসিত অংশকে অবশিষ্ট তরল থেকে তফাৎ করা গেলে (অর্থাৎ crystal fractionation হলে) ডিফারেন্সিয়েশান হতে পারে। কেলাসগুলি তরল অবশিষ্ট অংশ থেকে তফাৎ হবার সাধারণ উপায়গুলি নীচে লেখা হোল ঃ

(ক) ম্যাগমার মধ্যে ভারী খনিজের কেলাসগুলি মধ্যাকর্ষনের টানে ডুবে যেতে পারে ও ম্যাগমার তলার অংশে সঞ্চিত হতে পারে। এর ফলে ম্যাগমার সঙ্গে এই ডুবে যাওয়া কেলাসের বিক্রিয়া চলতে পারে না। তাই কেলাসিত অংশ ও ঐ সময় অকেলাসিত অংশ দুই বিভিন্ন পাথর তৈরী করতে পারে।

(খ) উপরোক্ত কারণে হালকা খনিজ কেলাসগুলি ম্যাগমার মধ্যে ভেসে উঠে উপরে ঐ খনিজ একটি স্তর তৈরী করতে পারে।

(গ) কেলাসন চলতে থাকা অবস্থায় ম্যাগমা অবয়বের উপর যদি পার্শ্বচাপের সৃষ্টি হয়, তাহলে কেলাসগুলির অন্তর্বর্তী স্থান থেকে তরল অবশিষ্ট ম্যাগমা বার হয়ে গিয়ে অন্য উদবেধী অবয়ব তৈরী করতে পারে। এর ফলে আগে কেলাসিত অংশ উচ্চ তাপাঙ্কের খনিজ সমৃদ্ধ থাকে ও পরে অবশিষ্ট ম্যাগমার তৈরী অবরয়বের কেলাস নিম্ন তাপাঙ্কের খনিজ সমৃদ্ধ হতে পারে।

(ঘ) জোনযুক্ত কেলাস বা বিক্রিয়া রিম (rim) তৈরী হলে উচ্চ তাপাঙ্কে কেলাসিত খনিজ যে উপাদানে তৈরী সেই উপাদান বিক্রিয়া সম্পর্ক থাকা সত্ত্বেও বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করা থেকে বাধা পায়—কারণ তার চারধারে নিম্ন তাপাঙ্কে কেলাসিত খনিজের আস্তরণ (coating) তৈরী হয়। এই রকম হওয়ার ফলে ম্যাগমা উচ্চ তাপাঙ্কে কেলাসিত খনিজের উপাদানে কম হয়ে পড়ে এবং অবশিষ্ট ম্যাগমার মধ্যে নিম্ন তাপাঙ্কে কেলাসিত উপাদানগুলির অনুপাত ক্রমশঃ বেড়ে যায়। কোনও উপায়ে এই রকম অবশিষ্ট ম্যাগমা অন্য উদবেধী অবয়ব তৈরী করলে

এই অংশে কেলাসিত খনিজ উচ্চ তাপাঙ্কে কেলাসিত খনিজের উপাদান থেকে তফাৎ হবে।

এ্যাসিমিলেশন (Assimilation) বা পরিমিশ্রণ

ম্যাগমা স্থানীয় পাথরের মধ্যে ঢুকে পড়লে স্থানীয় পাথরের সঙ্গে তখন তার সাম্য (equilibrium) অবস্থা থাকে না। এজন্য স্থানীয় পাথরের সঙ্গে বিক্রিয়া আরম্ভ হয় ও তার ফলে ম্যাগমার মধ্যে স্থানীয় পাথরের উপাদানের সংযোজনা (incorporation) ঘটে। এভাবে ম্যাগমার পরিবর্তন হয়। এই পদ্ধতিকে পরিমিশ্রণ (assimilation) বলে।

(1) সাধারণতঃ 1 গ্রাম স্থানীয় পাথরকে গলাতে হলে ম্যাগমাকে 100 calories তাপ সরবরাহ করতে হবে। (2) ম্যাগমার মধ্যে যদি কেলাসন হতে থাকে তবে এই কেলাসিত খনিজ N. L. Bowen এর Reaction Series এর অন্তর্ভুক্ত খনিজ হতে পারে। এবার মনে করা যাক যে স্থানীয় পাথরের খনিজ ও এই Reaction Series-এ পড়ে, কিন্তু ম্যাগমার থেকে কেলাসিত খনিজের তুলনায় এর স্থান অর্থাৎ এর কেলাসন তাপাংক তার থেকে কম। এই ক্ষেত্রে ঐ স্থানীয় পাথরের (যেমন এ্যাসিডিক্ পাথরের) টুক্রা ম্যাগমার (ব্যাসল্ট্ ম্যাগমার) মধ্যে পড়লে তা গলিত হয়ে ম্যাগমার সঙ্গে মিশে যাবে। এর জন্য প্রয়োজনীয় তাপ (latent heat of fusion) ম্যাগমা সরবরাহ করবে ও তাই করতে গিয়ে ম্যাগমার মধ্যে যে খনিজের কেলাসন চলছিল তা আরও বেশী পরিমাণে কেলাসিত হবে। স্থানীয় পাথর পরিমিশ্রিত (assimilate) করার ফলে নীচু তাপাঙ্কে কেলাসনের সময় ম্যাগমার অবশিষ্ট অংশ অনেক বেশী পরিমাণে থাকবে এবং তা থেকে ফেলসিক্ খনিজ বেশী তৈরী হবে। (3) যখন ম্যাগমা কেলাসিত হতে থাকে তখন এই কেলাসিত খনিজ সাধারণতঃ Reaction Series-এর অন্তর্ভুক্ত হবে; যেমন গ্রানাইটিক্ ম্যাগমা থেকে এ্যান্ডেসিন প্ল্যাগীওক্লেস কেলাসিত হচ্ছে। এই অবস্থায় যদি ঐ খনিজের থেকেও Reaction Series-এ উপরের দিকে অবস্থিত কোনও খনিজ, যেমন ল্যাব্রাডোরাইট্ প্ল্যাগীওক্লেস এই ম্যাগমার মধ্যে এসে পড়ে, তাহলে এই ম্যাগমা ল্যাব্রাডোরাইট্‌কে গলিত করতে পারবে না, কারণ সেইজন্য আরও বেশী তাপাঙ্ক প্রয়োজন। এই অবস্থায় ম্যাগমার মধ্য থেকে কেলাসিত এ্যান্ডেসিন্, ম্যাগমার মধ্যে এসে পড়া ল্যাব্রাডোরাইট ও ম্যাগমার তরল পদার্থ—এইগুলির মধ্যে একটি বিক্রিয়া পদ্ধতি আরম্ভ হবে। এইভাবে তরল পদার্থ ও কেলাস-

গুলির মধ্যে আয়নিক আদান-প্রদান (ionic exchange) হবে। এর ফলে ল্যাব্রাডোরাইটের কেলাসগুলি কঠিন অবস্থাতেই এ্যান্ডেসিনে পরিণত হবে।

একাধিক ম্যাগমার মিশ্রণ (Mixing of Magmas)

ভিন্ন ভিন্ন উপাদানে গঠিত দুইটি ম্যাগমার মিশ্রণের ফলে বিভিন্ন উপাদানে গঠিত পাথর তৈরী হতে পারে। Colorado (U.S.A.) তে অবস্থিত San Juan Volcanic এলাকায় andesite ও dacite পাথরের মধ্যে প্ল্যাগীওক্লেসের ফেনোক্রস্টের উপাদানের এত জটিল পার্থক্য দেখা গেছে যে মনে করা যায় ফেনোক্রস্ট বিশিষ্ট দুই বিভিন্ন ম্যাগমা উত্তমরূপে মিশ্রিত হয়ে এই বিভিন্ন পাথর তৈরী করেছে। তবে সাধারণতঃ এইরকম ম্যাগমা মিশ্রণ পদ্ধতি ম্যাগমার বিবর্তনে (petrogenesis এ) বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ না হতে পারে।

পরিবর্তন চিত্র (Variation Diagram)

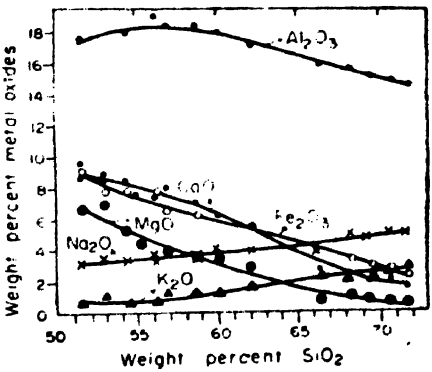
অনেক ক্ষেত্রে একই ভূতাত্ত্বিক বয়সের আগ্নেয় পাথরের কাছাকাছি অবস্থান দেখা যায়। এই পাথরগুলির মধ্যে রাসায়নিক উপাদান অনুসারে, খনিজ অনুসারে, গ্রথন অনুসারে, এবং অন্যান্য ভূতাত্ত্বিক বৈশিষ্ট্য অনুসারে, কিছু কিছু সাদৃশ্য থাকতে পারে। এই থেকে মনে হয় যেন ঐ পাথরগুলি একটি পরিবার (family) সৃষ্টি করেছে। কোন কোন গুণ, যেমন খনিজ অথবা রাসায়নিক উপাদান, পরিবারের সব পাথরের ক্ষেত্রে একইরকম হতে পারে, অথবা তারা কোনও বিশেষ গুণের ধারাবাহিকভাবে পরিবর্তন দেখাতে পারে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় হাইপারস্থিন খনিজটি চার্নকাইট সিরিজের (charnockite series) পাথরের বিশিষ্ট খনিজ এবং এই পরিবারের এ্যাসিড থেকে বেসিক সব পাথরেই দেখা যায়। এইরূপ থাকলে অনুমানাত্মকভাবে ধরা যায় যে ঐ পাথরগুলি একটি ম্যাগমা থেকে ডিফারেন্সিয়েশানের জন্য তৈরী হয়েছে, অথবা নিকট সম্পর্কযুক্ত কতগুলি ম্যাগমা থেকে তৈরী হয়েছে।

রাসায়নিক বা খনিজ উপাদানগুলি কোনটি কত পরিমাণে আছে দেখাবার জন্য একটি পরিবর্তন চিত্র (variation diagram) তৈরী করা হয়। এইরকম পরিবর্তন চিত্র তৈরী করতে হলে প্রথমে একটি পরিবর্তনশীলগুণকে (variable) পছন্দ করতে হয় যার পরিবর্তনের

সঙ্গে অন্যান্য গুরুত্বপূর্ণ খনিজ বা রাসায়নিক গুণগুলির ধারাবাহিক পরিবর্তন লক্ষ্য করার প্রয়োজন আছে।

একটি সিলের ক্ষেত্রে তলা থেকে উপর পর্যন্ত খনিজ উপাদানের পরিবর্তন লক্ষ্য করার জন্য তলা (base) থেকে কত উচ্চতায় পাথরের কি কি খনিজ শতকরা কত ভাগ আছে একটি গ্রাফে বসান যায়। এখানে প্রধান পরিবর্তনশীল গুণ সিলের তলা (basc) থেকে উচ্চতা। আমরা জানি যে ভারী, ম্যাফিক এবং অধিক তাপাঙ্কে কেলাসিত খনিজগুলি সিলের তলার দিকে সঞ্চিত হয়, এজন্য এইভাবে চিত্র তৈরী করলে তার থেকে ডিফারেন্সিয়েশানের একটি ধারণা করা যায়। পালিসেড সিলের (Palisadc sill) ক্ষেত্রে এভাবে ডিফারেন্সিয়েশান লক্ষ্য করা হয়েছে।

দেখা যায় যে SiO_2 আগ্নেয়পাথরের প্রধান প্রধান ম্যাগমার ক্ষেত্রে ডিফারেন্সিয়েশানের সঙ্গে বৃদ্ধি পেতে থাকে, এজন্য আগ্নেয়পাথরের ক্ষেত্রে SiO_2-কে একটি প্রধান পরিবর্তনশীল গুণ হিসাবে গ্রাফে (graph) ভুজ (abcissa) হিসাবে বসান হয় এবং SiO_2 কত আছে সেই অনুসারে পাথরগুলির অবস্থান নির্দিষ্ট করা হয়। বিভিন্ন



চিত্র 47

আগ্নেয় পাথরের রাসায়নিক উপাদানের পরিবর্তন চিত্র। ক্রেটার লেক আগ্নেয়গিরির পাথরের উদাহরণ। H. Williams, 1943, এবং K. B. Krauskopf, 1967 অনুসারে।

উপাদানগুলি শতকরা কত আছে সেই অনুসারে কোটিতে (ordinate) এক একটি বিন্দু দিয়ে নির্দেশ করা হয়। এক একটি উপাদান কোন কোন পাথরে কত আছে, সেই সব বিন্দুর মধ্যে দিয়ে রেখা টানা হলে ঐ উপাদানের পরিবর্তন চিত্র (variation diagram) তৈরী হয়।

ব্যাসল্ট, এ্যাণ্ডেসাইট, ডেসাইট এবং রায়োলাইট পাথরগুলির অনেক অঞ্চলে একত্রে সম্পর্কযুক্ত সমাবেশ দেখা যায়। চিত্রে তাদের বিভিন্ন উপাদানের মধ্যে ধারাবাহিক পরিবর্তন দেখা যায় (চিত্র 47)। এই থেকে জানা যায় যে ব্যাসল্ট ম্যাগমায় ডিফারেন্সিয়েশানের সময় এক একটি অবস্থায় ম্যাগমার অবশিষ্টাংশ থেকে ঐ পাথরগুলি তৈরী হতে পারে। এইরূপ পরিবর্তন চিত্র থেকে N. L. Bowen মনে করেন যে ফ্লাকশনাল কেলাসনের জন্য তরল অবশিষ্ট ম্যাগমা পূর্বে কেলাসিত খনিজ থেকে বিভিন্ন অবস্থায় তফাৎ হয়ে গিয়ে ঐ বিভিন্ন পাথরগুলি তৈরী করে থাকতে পারে।

স্থান ও কাল অনুসারে আগ্নেয় পাথরের সন্নিবেশ ও ভূআলোড়নের সঙ্গে ম্যাগমার অনুপ্রবেশের সম্পর্ক

সময় ও স্থান অনুসারে আগ্নেয়পাথরের সন্নিবেশ অনুসন্ধান করলে জানা যায় যে কয়েকটি আগ্নেয়পাথর একই যুগের ও সাধারণভাবে রাসায়নিক সাদৃশ্যযুক্ত হতে পারে, এই ক্ষেত্রে পাথরগুলিকে একই গোষ্ঠীর (kindred) অন্তর্ভুক্ত করা যায়। এই রকম একটি গোষ্ঠীর (kindred) পাথরের ভৌগোলিক বিস্তার—অর্থাৎ মানচিত্রে কত এলাকা জুড়ে আছে তাকে petrographic province বলা হয়। এইরূপ গোষ্ঠীর পাথর ভূতাত্ত্বিক যুগের সময় অনুসারে যত বিস্তার দেখায় তাকে petrographic period বলা হয়।

আগ্নেয়পাথরের অবয়বগুলির অনুপ্রবেশ ভূত্বকের অবস্থার উপর নির্ভর করে। দেখা গেছে যে অরোজেনিক (গিরিজনি) ভূ-আলোড়নের সময় অনেক জাতীয় ম্যাগমা ভূত্বকে অনুপ্রবেশ করে, অপরপক্ষে কোনও কোনও ম্যাগমা ভূত্বকে এপিরোজেনিক (epeirogenic) ভূ-আলোড়নের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট থাকে। পূর্বে আলোচনায় বলা হয়েছে যে এ্যাণ্ডেসাইট—ডেসাইট—রায়োলাইট ভলকানিজম অরোজেনিক ভূ-আলোড়নের সময় পার্বত্য অঞ্চলে অনুপ্রবেশ করে অর্থাৎ অবস্থান (petrographic province) এবং কাল (petrographic period) অনুসারে এদের এইরূপ সন্নিবেশ হয়। এ ছাড়া স্পিলাইট ও আলট্রাম্যাফিক পাথর অরোজেনিক ভূ-আলোড়নের গোড়ার দিকেই অনুপ্রবেশ করে। এজন্য আলপাইন জাতীয় পর্বতমালাতে স্পিলাইট লাভা, আলট্রাম্যাফিক প্লুটনিক পাথর দেখা যায়।

ব্যাসল্ট থোলিয়াইট ম্যাগমা অরোজেনিক অথবা নন্-অরোজেনিক অবস্থার মধ্যে সৃষ্ট হতে পারে: ভারতবর্ষের ডেকানট্রাপ ব্যাসল্ট ক্রটেশিয়াস—ইওসিন ভূতাত্ত্বিক যুগে সৃষ্টি হয়েছিল। ভূতাত্ত্বিক

গবেষণায় জানা গেছে যে ঐ সময় গণ্ডোয়ানাল্যান্ড নামক বিশাল মহাদেশের অংশ হিসাবে ভারতবর্ষ বহু দক্ষিণে অবস্থিত ছিল এবং ক্রেটেশিয়াস যুগে বেশ দ্রুত গতিতে উত্তর দিকে সরে যেতে থাকে। এই যুগে ভারতীয় এলাকার লিথোস্ফিয়রিক প্লেটের মধ্যে তলবর্তী ম্যান্ট্‌ল থেকে ব্যাসল্ট ম্যাগমা প্রচুর পরিমাণে অনুপ্রবেশ করে ও চ্যুতি ও বিভঙ্গ অনুসরণ করে ব্যাসল্ট লাভা প্রবাহ সৃষ্টি করে। কোনও কোনও ম্যাগমা ভূত্বকের সাধারণ চ্যুতি বা বিভঙ্গ দিয়ে, অর্থাৎ এপিরোজেনিক (epeirogenic) অবস্থায় অনুপ্রবেশ করতে পারে। পূর্ব-ভারতের কয়লা খনি অঞ্চলের ল্যামপ্রোফায়ার ডাইক বা সিল এই অবস্থায় অনুপ্রবেশ করেছে। এ্যালকালীন পাথর, যেমন নেফিলিন সায়ানাইট এই অবস্থায় সৃষ্টি হয় একথা অনেকে মনে করেন।

অষ্টম অধ্যায়

পাললিক পাথর (Sedimentary Rocks)

ভূমিকা

স্তরে স্তরে পলি সঞ্চিত হয়ে যে পাথর তৈরী হয় তাকে পাললিক পাথর বা পাললিক শিলা (Sedimentary rock) বলে। তুলনা করলে দেখা যায় যে পাললিক পাথর ভূত্বকের কঠিন অংশের উপরিভাগে বেশ কম তাপাঙ্ক ও চাপে তৈরী হয়, কিন্তু আগ্নেয় বা রূপান্তরিত পাথর ভূগর্ভে আরও বেশী তাপাঙ্কে ও চাপে তৈরী হয়। বস্তুতপক্ষে যখন বেশী পলি স্তরে স্তরে সঞ্চিত হয়, পূর্বে সঞ্চিত পলি গভীর-ভাবে ঢাকা পড়ে, তার ফলে তাদের উপর বেশী চাপ পড়ে এবং তাপাঙ্ক ও বাড়তে থাকে। এর জন্য এই পলির গ্রথন ও সংযুতির পরিবর্তন হয়ে পাললিক পাথর তৈরী হয়। তবে যে সব ক্ষেত্রে পলির উপর বেশী চাপ ও তাপাঙ্কের প্রভাব পড়ে না, সেই পলির বেশী পরিবর্তন হয় না। অনেক জায়গায় স্তরায়ন পরিমাপ করে হাজার হাজার ফিট পাললিক স্তরের উপস্থিতি জানা গেছে। সদ্য সঞ্চিত পলি থেকে পাললিক পাথর তৈরীর পদ্ধতিকে লিথিফিকেশান (lithification) বা প্রস্তরী-ভবন পদ্ধতি বলা হয়।

পাললিক পাথর প্রধাণতঃ দুই ভাবে তৈরী হয়ঃ—(1) পাথরের খণ্ড ও খনিজ পদার্থের খণ্ড শুধুমাত্র সঞ্চিত হয়ে পাললিক পাথর করতে পারে, (2) অপর দিকে রাসায়নিক অধঃক্ষেপনের ফলে পাথরের স্তর তৈরী হতে পারে।

(1) প্রথমোক্ত শ্রেণীর উদাহরণ হিসাবে বলা যায় কাদা, বালি ও নুড়ি সঞ্চয় বা অবক্ষেপণ (deposition); এই পদার্থগুলি তৈরী হয় পূর্বে তৈরী পাথরের ভেঙ্গে যাওয়া (disintegration) ও রাসায়নিক সংযুতি নষ্ট হয়ে যাওয়া অর্থাৎ বিযোজন (decomposition) হওয়ার ফলে এবং তা ঘটে ভূ-পৃষ্ঠের উপরে আবহিক বিকার (weathering) ও ক্ষয়ীভবনেরই (erosion) জন্য। যে সব স্থানে এই আবহিক বিকার ও ক্ষয়ীভবন সক্রিয় থাকে সেখান থেকে নদী, হিমবাহ এবং বায়ু ঐ কাদা, বালি ও নুড়ি বহন করে এনে অন্য স্থানে পলির সঞ্চয় করে। এই রকম পলিকে কর্করীয় বা ডেট্রিটাল (detrital) অথবা এপিক্লাস্টিক (epiclastic) বলে। এরা যে পাথর তৈরী করে, তার মধ্যে প্রধান হল বালিপাথর (sandstone) বা কাদা-

পাথর (mudstone)। এই পাথরগুলি কোয়ার্টজ ও সিলিকেট খনিজ দিয়ে তৈরী।

(2) রাসায়নিক উপায়ে যে পলির অবক্ষেপণ হয় তাদের মধ্যে যে সব পদার্থ থাকে তারা হল—কার্বনেট, সালফেট, সিলিকা, ফস্‌ফেট এবং হ্যালাইড ইত্যাদি। এগুলি ভূপৃষ্ঠের উপরিভাগের জল থেকে অধঃক্ষেপনের (precipitation) ফলে তৈরী হয়। তবে এই অধঃক্ষেপন কয়েকটি উপায়ে হয়, যেমন (ক) সরাসরি বাষ্পীভবনের ফলে জলের মধ্যের দ্রবীভূত রাসায়নিক লবণের অধঃক্ষেপন অথবা শুধুমাত্র অজৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে অধঃক্ষেপন। (খ) এইরূপ অধঃক্ষেপন প্রাণীর মধ্যস্থতায় ঘটতে পারে। এই প্রাণী ব্যাকটেরিয়ার মত ক্ষুদ্র থেকে আরম্ভ করে প্রবালের মত বড় হতে পারে। এরা যে স্তর অবক্ষেপণ করে তাকে জৈব বা অর্গানিক (organic) অথবা বায়োজেনিক (biogenic) পলি বলে। যেমন শ্যাওলার তৈরী এলগ্যাল রীফ (algal reef), প্রবাল রীফ ও কয়লার স্তর।

(3) অগভীর সমুদ্রে রাসায়নিক উপায়ে, বিশেষতঃ জৈব উপায়ে সঞ্চিত স্তর তৈরীর পর ক্ষয়ীভবনের ফলে ভেঙে যেতে পারে এবং তার খণ্ড ও চূর্ণ অন্যত্র সঞ্চিত হয়ে পাথরের স্তর তৈরী করতে পারে।

পলিকে প্রধানতঃ তিন ভাগে ভাগ করা যায় : (ক) Terrigenous components, (খ) Orthochemical components. (গ) Allochemical components.

(ক) স্থলীয় বা Terrigenous পলি—যে সব পদার্থ অবক্ষেপণ এলাকার বাহিরের স্থল অঞ্চলের ক্ষয়ীভবনের ফলে সংগৃহীত হয়ে অবক্ষেপণ এলাকাতে কঠিন পদার্থ হিসাবে বাহিত হয়ে আসে, তাদের টেরিজিনাস পলি বলে। যেমন কোয়ার্টজ বালি, ভারী খনিজ দানা, ইত্যাদি।

(খ) অর্থোকেমিক্যাল পলি—এই পদার্থগুলি অবক্ষেপণ অববাহিকাতেই (basin) সাধারণ রাসায়নিক অধঃক্ষেপনের ফলে সঞ্চিত হয়। যেমন ক্ষুদ্র দানা ক্যালসাইট বা ডলোমাইট, বাষ্পীভবনের ফলে অধঃক্ষেপিত লবণ স্তর (evaporite)।

(গ) এলোকেমিক্যাল পলি—এই পলিগুলি অবক্ষেপণ অববাহিকাতেই (basin) অধঃক্ষেপনের ফলে তৈরী হয়েছিল কিন্তু এরা কঠিন পদার্থ হিসাবে ঐ অঞ্চলেই এক স্থান থেকে অন্য স্থানে বাহিত হয়ে

আবার সঞ্চিত হয়। যেমন ভাঙ্গা বা সম্পূর্ণ ঝিনুকের খোলা, উও-লাইট (oolite) ইত্যাদি।

পাললিক পাথরের উপাদান এবং গ্রথন তার উৎপত্তি ও ইতিহাসের সাক্ষ্য বহন করে। পাললিক প্রস্তরবিদের একটি গুরুত্বপূর্ণ কাজ হোল ঐ পাথরের ইতিহাস নিরূপণ করা। এজন্য যে সব পদ্ধতিতে পাললিক পাথর তৈরী হয় তাদের সম্বন্ধে তথ্যের প্রয়োজন। গবেষণাগারে পাললিক পাথরের নমুনা ও অনুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে তাদের উপাদান ও গ্রথন অনুসন্ধান করলেও সব বিষয় জানা যায় না—কারণ অবক্ষেপণ এলাকাতে ঐ পাথর কেমন অবস্থায় আছে, তার সঙ্গে সংশ্লিষ্ট পাথরের সম্পর্ক ও স্থানীয় সব পাথরের গঠন ইত্যাদি জানা গেলে তবে পাললিক পাথরের ইতিহাস সুষ্ঠুভাবে নিরূপণ করা যায়।

যে সব পরিস্থিতির মধ্যে দিয়ে পলির উৎপত্তি হয়েছে, পলি সঞ্চিত হয়েছে এবং অতঃপর পলি প্রস্তরীভূত হয়েছে তার উপর পাললিক অবক্ষেপের বৈশিষ্ট্যগুলি নির্ভর করে। অবক্ষেপণের পরিবেশ (environment of deposition) যে কোনও পাললিক অবক্ষেপের উপর তার চিহ্ন রাখে। পলির অবক্ষেপণ হওয়ার পর নিম্ন তাপাঙ্কে ও চাপে তার সংযুতি ও গ্রথনে যে পরিবর্তন হয় তাদের ডায়াজেনেসিস (diagenesis) বলে।

কর্করীয় (detrital) পদার্থের উপর তার উৎপত্তিস্থলের (source) প্রভাব থাকে এবং যেভাবে পলি পরিবাহিত হয় তার প্রভাবও বেশ উল্লেখযোগ্য।

পাললিক পাথরের খনিজ উপাদান

পাললিক পাথরের খনিজগুলিকে প্রধানতঃ দুভাবে ভাগ করা যায়ঃ (ক) যেসব ক্ষয় প্রতিরোধকারী খনিজ পলির উৎস থেকে ভেঙ্গে এসে পড়ে, (খ) উৎসের পাথরের রাসায়নিক বিযোজনের ফলে যে রাসায়নিক পদার্থের সৃষ্টি হয় তা থেকে নতুনভাবে তৈরী খনিজগুলি। যেহেতু এই খনিজগুলি জল-সমৃদ্ধ পরিবেশে তৈরী হয়, সেজন্য এই দ্বিতীয় শ্রেণীর খনিজগুলি সাধারনতঃ জলযুক্ত যৌগিক পদার্থ।

S. Goldich প্রথম দেখিয়েছিলেন যে আবহ-বিকার (weathering) এর সময় আগ্নেয় পাথরের খনিজগুলির স্থায়িত্বের বিন্যাস হোল N. L. Bowen এর "রিএকশান সিরিজের" (যা আগ্নেয়পাথরের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য) বিপরীত।

Mineral Stability Series in Weathering (After Goldich)

স্থায়ীত্ব হ্রাস ↓	কোয়ার্টজ	
	অভ্র	
	পটাশ ফেলসপার	
	বায়োটাইট	
	এ্যালকালীক প্লাগাওক্লেস	
	এ্যালকালী-ক্যালসিক প্লাগাওক্লেস	হর্ণব্লেণ্ড
	ক্যালসিক-এ্যালকালীক প্লাগীওক্লেস	
	ক্যালসিক প্লাগাওক্লেস	অগাইট
		অলিভিন

এই থেকে বোঝা যায় যেসব খনিজ আগ্নেয় পাথরে বেশী তাপাঙ্কে তৈরী, যেমন অলিভিন, অগাইট, ক্যালসিক প্লাগীয়ক্লেস, তারা আবহ-বিকারের সময় সহজেই নষ্ট হয়ে যায়, আর কম তাপাঙ্কে তৈরী খনিজ-গুলি যেমন অভ্র, কোয়ার্টজ ও পটাশ ফেলস্পার আবহ-বিকারের সময় সময় খুব স্থায়ী হয়।

এই প্রসঙ্গে উল্লেখ করা যায় যে রূপান্তরিত পাথরের ক্ষেত্রে এইরকম কোন স্থায়িত্বের বিন্যাস (order of stability) নেই। তবে দেখা যায় যে কোন কোন খনিজ, যেমন গার্নেট যেগুলি উচ্চ তাপাঙ্কে তৈরী ফেসিসের (high-temperature metamorphic facies) পাথরে থাকে তারা বিযোজনকে (যেমন hydrolysis কে) প্রতিরোধ করে আর কম তাপাঙ্কে তৈরী ফেসিসের (low-temperature metamorphic facies) খনিজ যেমন এপিডোট, ঐ রকম স্থায়ী নয়।

আগে বলা হয়েছে যে পাললিক পাথরের খনিজগুলি হয় (ক) কর্করীয় (detrital) অথবা (খ) রাসায়নিক অধঃক্ষেপনের ফলে তৈরী (chemical)। প্রথম শ্রেণীর খনিজগুলি, উৎস পাথরের আবহবিকারের ফলে আলগা হয়ে যাওয়া দানা থেকে তৈরী হয় বা ক্ষয়ীভবনের ফলে ভেঙ্গে দানা তৈরী হয়। এজন্য এরা পলির উৎস পাথরের বিষয় (provenance) নির্দেশ দেয়। যে সব খনিজ বিযোজন জনিত ক্ষয় প্রতিরোধ করে তারা উৎস পাথরের ক্ষয়ীভবন হওয়ার সময়-কার আবহাওয়া এবং ঐ অঞ্চলের উচ্চতার প্রকৃতি (relief) সম্বন্ধে নির্দেশ দেয়। আবার কর্করীয় দানাগুলির পরিবহণ হওয়ার সময়কার ইতিহাস অর্থাৎ কিভাবে পরিবাহিত হয়েছে তা নির্দেশ করে। এছাড়া অবক্ষেপণের অববাহিকাতে (Basin) ঐ কর্করীয় দানা একটি উৎস থেকে এসে কতটা এলাকায় ছড়িয়ে পড়েছে (অর্থাৎ sedimentary

petrographic province) তার সীমা নির্দেশ করে। কর্করীয় দানাগুলির মধ্যে বিভিন্ন খনিজের একত্রে যে সমাবেশ (assemblage) হয় তা থেকে পলির উৎসগুলি এক না একাধিক তা বোঝা যায়। তাছাড়া একই উৎস অঞ্চলে কালক্রমে যখন গভীর ক্ষয়ীভবনের ফলে উপরের পাথর অপসারিত হয়ে গভীর অঞ্চলের পাথরের ক্ষয়ীভবন হতে আরম্ভ করে তখন পলির কর্করীয় দানা—বিশেষ করে বিভিন্ন ভারী খনিজদানার (heavy mineral) সমাবেশ (assemblage) তফাৎ হয়। এই ভারী খনিজগুলির সমাবেশ বিভিন্ন এলাকার পাললিক পাথরের একাধিক স্তরের মধ্যে কোরিলেশান (correlation) করাতে সাহায্য করে।

যেসব খনিজ অধঃক্ষেপনের ফলে তৈরী হয়েছে তারা অবক্ষেপনের রাসায়নিক পরিবেশ সম্বন্ধে আলোকপাত করে। কোন কোন খনিজ তৈরী হওয়ার সময়কার এ্যাসিড বা এ্যালকালীন অবস্থা, অথবা অক্সিডেশান বা রিডাকশান অবস্থা নির্দেশ করে। কোন কোন খনিজ জলের মধ্যে লবণের ভাগ কত (salinity) তা নির্দেশ করে। Oxygen isotope composition থেকে পাললিক পাথর তৈরী হওয়ার সময়কার তাপাঙ্ক জানা যায়।

পাললিক পাথরের বিভিন্ন খনিজ

(১) স্থলীয় খনিজ : স্থলের ক্ষয়ীভবনের ফলে সংগৃহীত কর্করীয় পলি।

কোয়ার্টজ 35—50% (গড় পরিমাণ)

ক্লে মিনারেল 25—35% (clay minerals)

প্রধান খনিজ :

সেরিসাইট (সূক্ষ্মদানার অভ্র জাতীয়) (sericite)

ইলাইট গ্রুপ (Illite group)

মণ্টমরিলনাইট গ্রুপ (montmorillonite group)

ক্লোরাইট গ্রুপ (chlorite group)

ফেলস্‌পার 5–15% (পটাশ ফেলস্‌পার প্লাগীওক্লেসের থেকে বেশী থাকে)। চার্ট 1–4% (পুরান চুনাপাথরের ক্ষয় হয়ে আসে)। অভ্র 0·1–0·5% (সাধারণতঃ মাসকোভাইট, কম ক্ষেত্রে বায়োটাইট)। কার্বনেট 0·2–1% (পুরান চুনাপাথরের ক্ষয় হয়ে আসে)। আনুষঙ্গিক ভারী খনিজ 0·1–1·0%

অস্বচ্ছ opaque ধাতব খনিজ—ম্যাগনেটাইট, ইলমেনাইট, হেমাটাইট, লিমোনাইট, লিউকক্সিন। স্থায়ী শ্রেণী : জারকন, টুরম্যালিন, রুটিল কম স্থায়ী শ্রেণী : গার্নেট, এপেটাইট, কায়ানাইট, স্টরোলাইট, এপিডোট, হর্ণব্লেণ্ড, পাইরক্সিন ও অন্যান্য।

(২) রাসায়নিক খনিজ : অবক্ষেপণের অববাহিকাতে দ্রবণ থেকে অধঃক্ষেপণের ফলে তৈরী।

কার্বনেট—70–85%: ক্যালসাইট, ডলোমাইট, সিলিকা—10–15%: এরাগোনাইট, সাইডেরাইট কোয়ার্টজ, চার্ট

সালফেট ও লবণ 2–7%: হেলাইট, জিপসাম, এনহাইড্রাইট ও পটাসিয়াম

অন্যান্য—2–4%

ফেলস্‌পার, হেমাটাইট, লিমোনাইট, পাইরাইট, ফসফেটস, গ্লকোনাইট, ম্যাঙ্গানীস, টুরম্যালিন, জারকন, রুটিল, জিওলাইট ইত্যাদি।

কর্করীয় খনিজগুলির বিবরণ

(ডেট্রাইটাল মিনারাল্‌স)

কোয়ার্টজ—কোয়ার্টজ পাললিক পাথরের মধ্যে সবচেয়ে সাধারণ উপাদান হিসাবে আছে। বালিপাথরে শতকরা 99 ভাগ, শেল পাথরে 32—22 ভাগ এবং চুনাপাথরে কোন কোন ক্ষেত্রে অনেক পরিমাণে কোয়ার্টজ থাকে। কোয়ার্টজ কর্করীয় দানায় থাকলেও অনেকক্ষেত্রে অথিজেনিক হতে পারে যেমন কর্করীয় দানার চারদিকে কোয়ার্টজ পাতলা আস্তরন জমা হয়ে ওভারগ্রোথ তৈরী করতে পারে।

ফেলস্‌পার—সাধারণতঃ কোয়ার্টজের থেকে কম থাকে। ফেলস্‌পার বালিপাথরে বেশী পরিমাণে থাকে। গড় বালিপাথরে (average sandstone) ফেলস্‌পার থাকে শতকরা 12 ভাগ। আরকোজ বা ফেলসপাথিক গ্রেওয়াকী পাথরে ফেলসপার বেশী পরিমাণে থাকে।

মাইকা—মাইকা কর্করীয় উপাদান হিসাবে থাকতে পারে। গ্রেওয়াকী, আরকোজ ও সূক্ষ্ম সিল্টি (silty) স্যান্ডস্টোনে মাইকা পাওয়া যায়।

"**ভারী খনিজ**" (Heavy Minerals)—এগুলি 2·85 এর থেকে বেশী আপেক্ষিক গুরুত্বযুক্ত খনিজ (Sp Gr$>$2·85)। এরা সামান্য পরিমাণে (minor accessory) হিসাবে বালি পাথরে থাকে। তবে সচরাচর শতকরা 1 ভাগের বেশী হয় না, সাধারণতঃ 0·1 ভাগেরও কম থাকে। এজন্য ভারী খনিজগুলিকে অন্য খনিজের থেকে আলাদা করে পরীক্ষা করা হয়।

জারকন একটি স্থায়ী ভারী খনিজ ও হর্ণব্লেন্ড একটি অস্থায়ী ভারী ম্যাফিক খনিজ. এরা কর্করীয় বালির মধ্যে থাকে। যদি ভারী খনিজ নতুন করে কেলাসিত পাথর (crystalline rocks) থেকে আসে.

তাহলে তাদের কম ক্ষয় হয়ে থাকে, তখন ক্লিভেজগুলি দিয়ে দানার আকার তৈরী হয় এবং দানাগুলি ইউহেড্রাল হয়। যদি এই "heavies" গুলি আগেকার পাললিক পাথর থেকে ক্ষয় হওয়ার ফলে আসে তাহলে, অস্থায়ী ভারী খনিজগুলি অনুপস্থিত থাকে এবং স্থায়ীগুলিও বেশ ক্ষয় হয়ে গোলাকার দেখায়। এই রকম ক্ষেত্রে দ্বিতীয়বার খনিজগুলির ক্ষয়ীভবন, পরিবহণ এবং অবক্ষেপন সম্ভব, এমনকি এই ইতিহাস বারংবার হওয়া সম্ভব—একে বলা হয় "reworking of early formed sediments.'

দেখা গেছে যে ভারী খনিজ সমাবেশ কোনও স্তর থেকে সংগ্রহ করা হলে, তার উপরের বা নীচের স্তরের ঐ সমাবেশের থেকে খনিজগুলি আলাদা হতে পারে। এই থেকে স্তরের "petrographic correlation" করা যায়। তবে reworking হলে ভারী খনিজের বিভিন্ন উৎস থাকা সম্ভব, তখন correlation করা শক্ত হতে পারে।

R. L. Folk ভারী খনিজগুলিকে চার ভাগে বিভক্ত করেছেন ঃ

(1) Opaques (2) Micas (3) Ultra-stable group (4) Less stable group.

(1) অস্বচ্ছ বা ওপেক (opaque) খনিজ—ভারী খনিজ দানার মধ্যে এগুলির আপেক্ষিক গুরুত্ব বেশ বেশী হয় (কারণ এদের মধ্যে লোহা থাকে)। ম্যাগনেটাইট ও ইলমেনাইট এ শ্রেণীর প্রধান খনিজ।

(2) মাইকা—এগুলি ভারী খনিজ দানা পাথর থেকে তফাৎ করার সময় আংশিকভাবে চলে আসে। ওপেক খনিজ ও মাইকা পাললিক পাথরের ভারী খনিজ গবেষণায় এখনও বেশী কাজে লাগে না।

(3) আলট্রা-স্টেবল শ্রেণী—এই শ্রেণীতে আছে জারকণ টুরম্যালিন ও রুটিল। এর মধ্যে প্রথম দুটি খুবই শক্ত ও রাসায়নিক বিক্রিয়ায় ক্ষতিগ্রস্ত হয় না, এজন্য এরা বহুবার reworking হলেও বালির মধ্যে থাকে। এজন্য টুরম্যালিন ও জারকনের ভারী খনিজ দানার প্রাচুর্য থেকে ধরা যায় যে (ক) দীর্ঘস্থায়ী ঘর্ষণ ও (অথবা) রাসায়নিক ক্ষয় ঘটেছে (খ) খনিজগুলি আগের পুরাণ পাললিক পাথরের বারংবার ক্ষয়ীভবনের (reworking) ফলে এসেছে। জারকনের রং, কেলাসের আকার, লম্বতা, জোনিং এবং ভিতরে ঘিরে থাকা inclusions দিয়ে বহু প্রকার চেনা যায়। টুরম্যালিনও তেমন বহু প্রকারের হতে পারে প্রধানতঃ রং, প্লিওক্রোইজম, জোনিং, ইনক্লুসান দিয়ে। এর ফলে বিভিন্ন ধরনের জারকন বা টুরম্যালিন থেকে তাদের উৎস কি ধরণের তা বার করা যায়।

(4) কমস্থায়ী শ্রেণী—(ক) গার্নেট প্লুটনিক পাথর, পেগমাটাইট

বা রূপান্তরিত পাথর থেকে আসতে পারে, তবে প্রচুর পরিমাণে থাকলে রূপান্তরিত পাথর থেকে এসেছে ধরতে হবে। রং অনুসারে বহু প্রকারের হয়। গার্নেটের উপাদান নানারকম হয়—কোন কোন গার্নেট বেশ সহজেই ক্ষয় হয় বা বিযোজন হয়। সমুদ্রতলে অথবা স্তরের মধ্যে দ্রবণের কার্যকরীতার ফলে ক্ষয়ের চিহ্ন দেখা যায়।

(খ) কায়ানাইট, সিলিম্যানাইট, এন্ডালুসাইট, স্টরোলাইট—এই খনিজগুলি রূপান্তরিত পাথর থেকে আসে। এরা স্থায়ী কিন্তু নরম হওয়ায় ক্ষয় তাড়াতাড়ি হয়।

(গ) এপিডোট—ক্লাইনোজোইসাইট—এরা রূপান্তরিত বা হাইড্রোথারম্যাল পাথর থেকে আসে। মোটামুটি স্থায়ী।

(ঘ) হর্ণব্লেন্ড ও পাইরক্সিন—মোটামুটি অল্প স্থায়ী। এরা আগ্নেয়পাথর ও রূপান্তরিত পাথর দুই থেকে আসতে পারে।

(ঙ) এপেটাইট আগ্নেয়পাথর থেকে আসে; অল্পস্থায়ী।

(চ) অলিভিন খুব বিরল। শুষ্ক আবহাওয়ায় অল্প কাল ধরে ক্ষয়ীভবন হয়ে থাকলে অলিভিন পাওয়া যেতে পারে। আগ্নেয় বেসিক ও আলট্রাবেসিক উৎস পাথর থেকে আসে।

মনে রাখা দরকার যে কোয়ার্টজ কম ভারী হওয়ায় পরিবহণের সময় বড় দানা কোয়ার্টজ ও ছোট দানা ভারী খনিজ এক সঙ্গে পরিবাহিত হয়।

G. Rittenhouse দেখিয়েছেন যে আপেক্ষিক গুরুত্ব অনুসারে পরিবহনের সময় এইরকম ঘটে।

ক্লে মিনারালগুলি (Clay Minerals)

ক্লে কথার একটি অর্থ সূক্ষ্মদানা পলি যার মাপ 0·008 মিঃ মিঃ এর কম। তাছাড়া খনিজ নাম হিসাবে ক্লে মিনারাল কথা ব্যবহার হয়। কারণ এই খনিজগুলি মাটি ও কাদার মধ্যে বেশী থাকে।

ক্লে মিনারালগুলি হাইড্রাস এলুমিনিয়াম সিলিকেট। সরলভাবে লেখা হলে কেওলিন (Kaolin) $H_4Al_2Si_2O_9$ এবং মণ্টমরিলনাইট (Montmorillonite) $HAlSi_2O_6$।

ক্লে মিনারেলগুলির গঠনে এ্যাটমগুলি মাইকার মত সিট্ (sheet) হিসাবে রয়েছে। এজন্য এরা phyllosilicates। এই sheet এর মধ্যে একরকম sheet হোল Si^{4+} ও O দিয়ে তৈরী tetrahedron দিয়ে গঠিত ও অপর ধরণের হোল Al^{3+} ও O বা OH দিয়ে গঠিত octahedron দিয়ে তৈরী। Kaolinite এ একটি octahedral sheet

tetrahedral sheet পরপর সাজান থাকে। Montmorillonite এ দুইটি tetrahedral sheet এর মধ্যে একটি octahedral sheet স্যান্ড-উইচের মত থাকে। Montmorillonite কে "expanding-lattiee" clays বলা হয় কারণ এর layer গুলির মধ্যে জল ঢুকে layer গুলিকে তফাৎ করে দিতে পারে, এবং Al এর স্থানে Fe^{3+}, Mg ইত্যাদি আয়ন-গুলি (ions) ঢুকতে পারে।

Montmorillonite ($Al_4Si_8O_2(OH)_4$) এর স্তর (layer) গুলির মধ্যে K^+ থাকলে স্তরগুলি বেশ জোরাল ভাবে আটকে থাকে। তখন এই খনিজের গুণ অন্যরকম হয়—একে illite ($K_{0-2}Al_4$ $Si_{8-6}Al_{0-2})O_{20}(OH_4)$ বলা হয়। ক্লে মিনারালগুলি সম্বন্ধে অত্যন্ত গভীরভাবে গবেষণা হয়েছে, এজন্য এই বিষয় জানতে হলে R. Grim এর বই Clay Mineralogy দেখা প্রয়োজন।

পাললিক পাথরের গ্রথন বা টেক্সচার (Texture)

পাললিক পাথরের খনিজ উপাদানগুলির মাপ, আকার ও বিন্যাস (arrangement)-কে টেক্সচার (Texture) বা গ্রথন বলা হয়। যেমন বড় দানাযুক্ত কোণিত বা গোলিত, ছিদ্রবহুল বা পোরাস (porous) ঃ এগুলি টেক্সচারের বিবরণ। এই গুণগুলি জ্যামিতিক গুণ। সুতরাং টেক্সচার রাসায়নিক বা খনিজ সংযুতি থেকে একটি পৃথক গুণ।

গঠন বা স্ট্রাকচার (sturcture) আরও বড় বৈশিষ্ট্যগুলি নিয়ে আলোচিত হয়। টেক্সচারে যেমন এক দানার সঙ্গে অন্য দানার সম্পর্ক নিয়ে আলোচনা করা হয় তখন স্ট্রাকচারে বেডিং, রিপল মার্ক নিয়ে আলোচনা করা হয়। টেক্সচার সবচেয়ে ভাল দেখা যায় অনুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে বা হাতে নমুনা দেখে, তেমন স্ট্রাকচার ভাল দেখা যায় উদ্‌ভেদ (outcrop) দেখে বা হাতে নমুনা দেখে।

গ্রথন বা টেক্সচার (Texture)

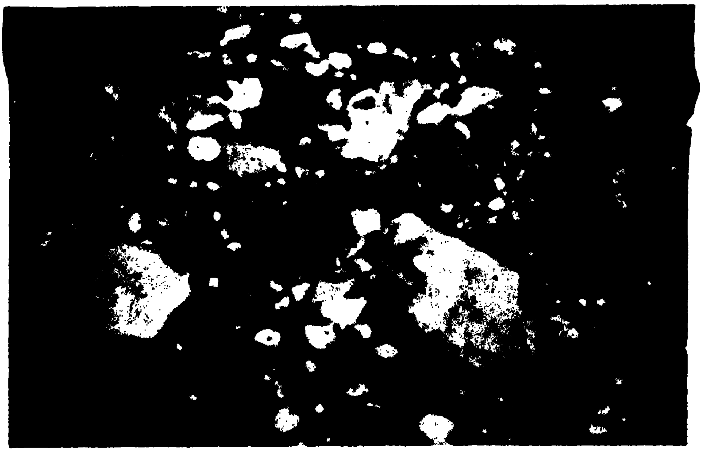
গ্রেণ (Grain), ম্যাট্রিক্স (Matirix) ও সিমেন্ট (Cement) ঃ

বহু ক্লাস্টিক বা কর্করীয় (detrital) পাললিক পাথরে 2 মাপের দানা দেখা যায়। বালি পাথরে যে দানাগুলি ·062mm এর থেকে বড় তাদের গ্রেণ (Grain) বা দানা বলে এবং তার থেকে সূক্ষ্ম কণাগুলি —যেগুলি কাদার মাপের—তাদের বলা হয় ম্যাট্রিক্স (matrix)। পাথরের দানাগুলি সাধারণতঃ একটি কাঠামো (frame work) তৈরী

পাললিক পাথরের আণুবীক্ষণিক চিত্র

চিত্র 52

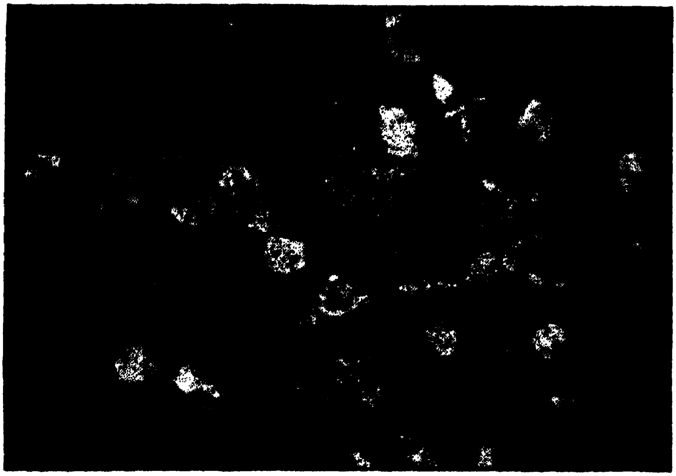
অর্থোকোয়ার্টজাইট : কর্করীয় কোয়ার্টজ বালির দানা ও তাদের ধারে ধারে ওভারগ্রোথ হিসাবে কোয়ার্টজ-সিমেণ্ট রাসায়নিক উপায়ে অবক্ষেপিত। দানাগুলি আগে যে গোলিত ছিল তা অস্পস্ট রেখা দ্বারা দেখা যায়। বিন্ধিয়ান।



চিত্র 53

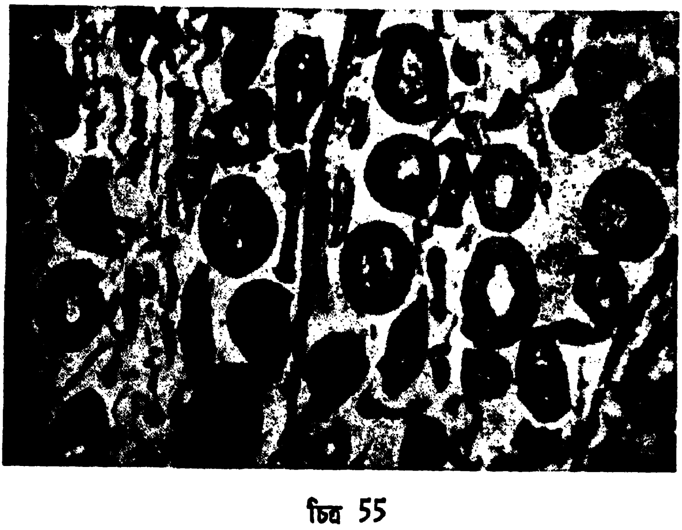
আরকোজ : কর্করীয় কোয়ার্টজ ও ফেলসপার বালি মাপের দানা। দানাগুলি আকোণিত বা আগোলিত। বাছাই ভাল নয়। বরাকর ফরমেশান। রাণীগঞ্জ কয়লাখনি অঞ্চল।

(চিত্র 52—54 : × 18, নিকল্‌স +)



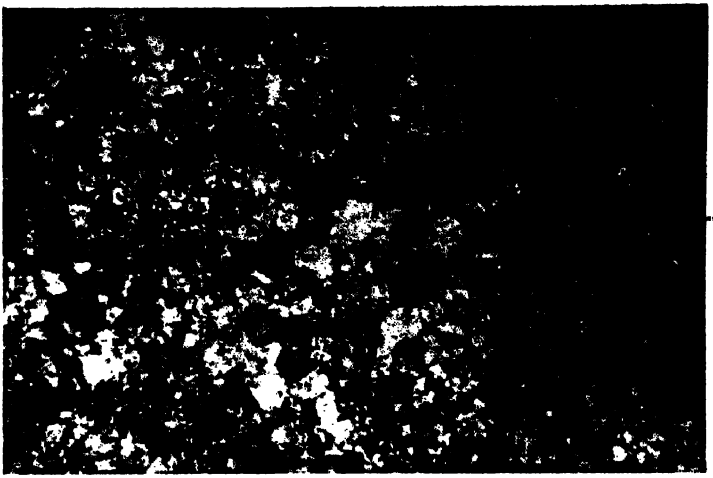
চিত্র 54

সবগ্রেওয়াকী পাথর ঃ আকোণিত দানা। ক্লেযুক্ত ম্যাট্রিক্স লক্ষ্যণীয়।
(চিত্র 52—54—A. K. Bhattacharji কৃত স্লাইড থেকে গৃহীত)



চিত্র 55

উওলাইটিক লাইমস্টোন ঃ উওলাইট দানাগুলি এককেন্দ্রীয় চক্রাকার স্তরযুক্ত। কার্বনেট সিমেন্ট। কোন কোন উওলাইটের দানার মাঝখানে বালি দানা আছে।



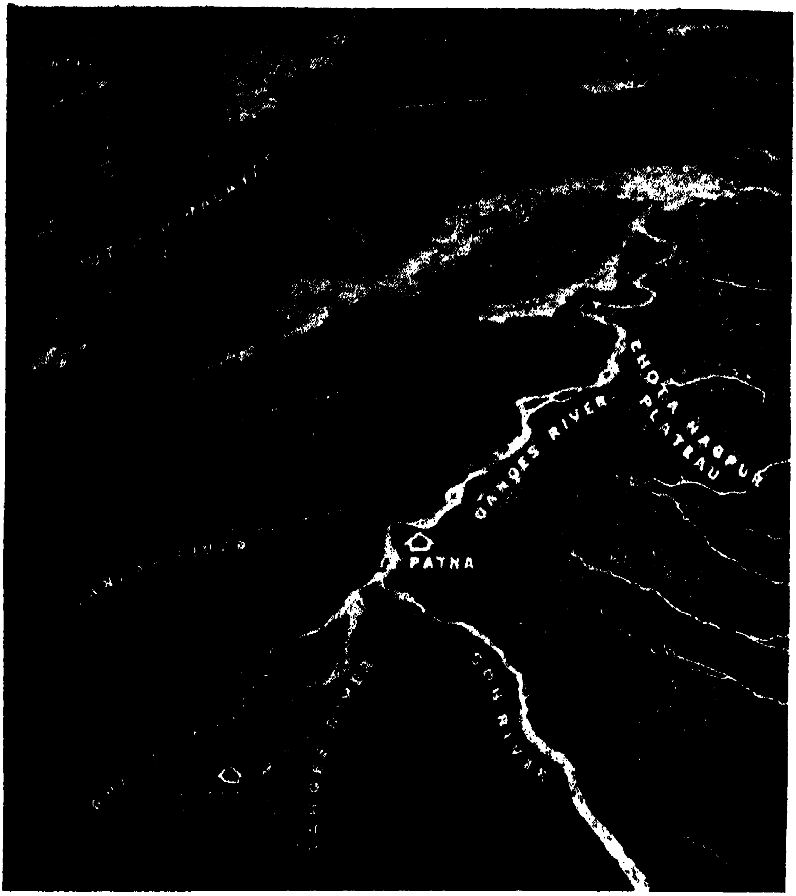
চিত্র 56

ডলোমাইট পাথর ঃ স্পারী কেলাসযুক্ত।

চিত্র 57

চুনাপাথরে ইণ্ট্রাক্লাস্ট (intraclast) অর্থাৎ চুনা পাথরের খণ্ডিতদানা। দানার মধ্যবর্তী স্থানে মাইক্রোক্রিস্টালীন ম্যাট্রিক্স।

চিত্র 55—57 ঃ বিন্ধিয়ান, ভাণ্ডের ফরমেশান, মধ্যপ্রদেশ। (B. Sarkar, 1975 হইতে)। (× 18)



চিত্র 69

হিমালয়ের হিমবাহ-সঙ্কুল পার্বত্য অঞ্চল (Great Himalayas), হিমালয়ের পাদদেশের পিয়েডমণ্ট্ অঞ্চল, গাঙ্গেয় অববাহিকা ও নদী-খাতের বিভিন্ন রূপ। ক্ষয়ীভবন, পলি পরিবহণ ও অবক্ষেপণের বিভিন্ন পরিবেশগুলি দ্রষ্টব্য। Apollo 7 মহাকাশযান থেকে গৃহীত NASA চিত্র।

(Span এবং USIS এর সৌজন্যে)।

চিত্র 82

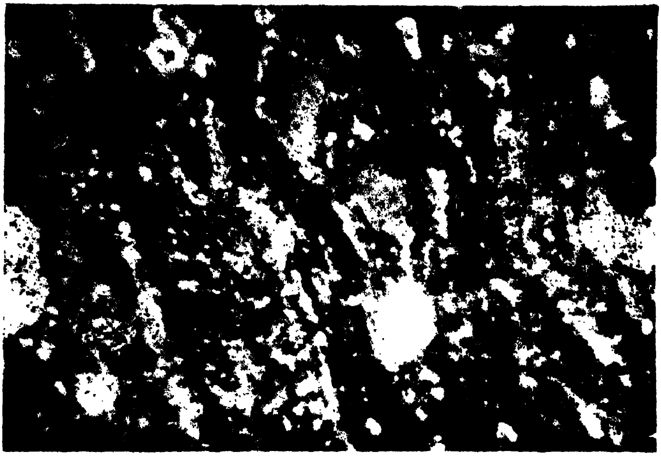
রূপান্তরিত পাথরে চাপের কার্যকারিতা। কোয়ার্টজাইট স্তরে অল্প ভাঁজ, কিন্তু তীব্র বিভঙ্গ ও চ্যুতি এবং মার্বল স্তরে তীব্র ভাঁজ ও অনুরূপ ফ্লোয়েজ—চাপ ও তাপাঙ্কের প্রভাবে একই সংগে সৃষ্টি হয়েছে। গাঙ্গপুর, উড়িষ্যা।

চিত্র 83

কায়ানাইট—সিলিম্যানাইট—বায়োটাইট শিস্ট ঃ মাঝখানে কায়ানাইটের ব্লেডের আকারের ক্লিভেজযুক্ত দানা। সিলিম্যানাইটের ফাইব্রাস কেলাস আছে। কার্শিয়াং, দার্জিলিং হিমালয়। (× 30) (A. Dc 1951)

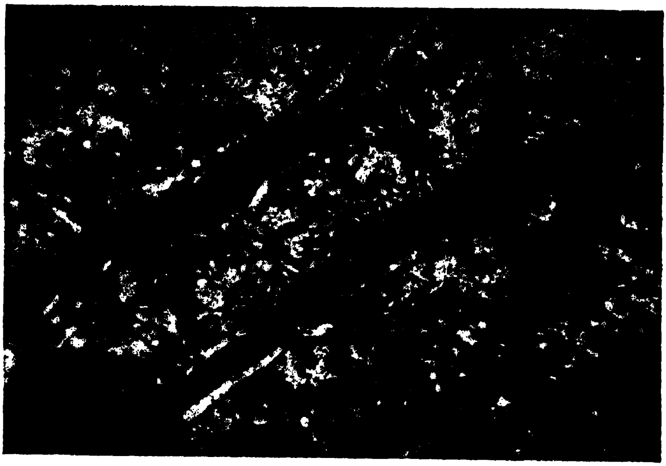
চিত্র 84

গার্নেট পরফিরোব্লাস্ট ও সিলিম্যানাইটযুক্ত নাইস (খণ্ডালাইট) পাথর। ঐ খনিজগুলির সঙ্গে কোয়ার্টজ, পটাশ ফেলসপার এবং ম্যাগনেটাইট ছড়িয়ে আছে। পূর্বঘাট অঞ্চল, উড়িষ্যা। (× 18)



চিত্র ৪5

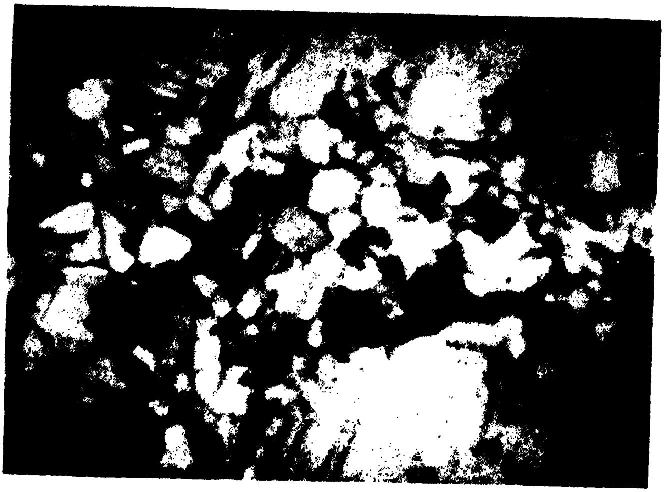
মাইলনাইট : বিচূর্ণিত কোয়ার্টজ দানায় তৈরী ও শীয়ার প্লেন—(ঘর্ষণ সমতল) গুলিতে আরও বেশী গুঁড়া হওয়া দানা আছে। কোয়ার্টজ পরফিরোক্লাস্ট আনডুলেটারী এক্সটিংকশান দেখায়। কুইবেক, কানাডা।



চিত্র 86

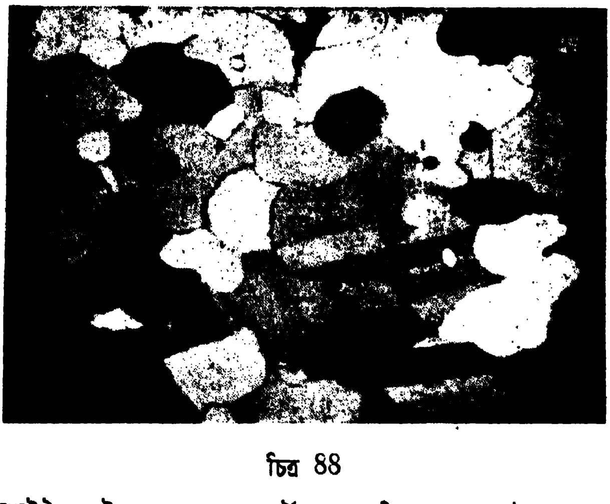
সারপেনটিনাইট : সারপেনটিনিজেশান হওয়া আলট্রাম্যাফিক পাথর। পাথরের ভূমিতে এন্টিগোরাইট ও শিরার আকারে ক্রাইসোটাইল (এসবেস-টাস্) আছে। কুইবেক, কানাডা।

(চিত্র 85–88 : × 18, নিকল্‌স +)



চিত্র 87

মেটা—এনরথোসাইট পাথর প্লাগীওক্লেস দানার গ্রানুলিটিক গ্রথন দেখা যায়। বড় দানাগুলি আগ্নেয় অবস্থার চিহ্নাবশেষ। বাঁকুড়া জেলা। (B. Raychaudhuri কৃত স্লাইড থেকে গৃহীত চিত্র)।



চিত্র 88

গ্রানাইট নাইস পাথর : কোয়ার্টজ, প্লাগীওক্লেস ও পটাশ ফেলসপার গ্রানোব্লাস্টিক গ্রথন তৈরী করেছে। সামান্য বায়োটাইট আছে। জগদীশপুর, সাঁওতাল পরগণা। (D. Bhadra, 1974 হইতে)।

করে বা উপরের পলির ওজনকে বহন করে। দানার মধ্যের স্থানকে আংশিকভাবে ভর্তি করে matrix, আর বাকী অংশ প্রথমে খালি থাকে বা pore space এর মধ্যে ফ্লুইড দিয়ে ভর্তি থাকে। Compaction হলে খালি জায়গা কমে যায় বা রাসায়নিক উপায় অধঃক্ষেপিত সিমেণ্ট দিয়ে ভর্ত্তি হয়ে যায়।

প্রায় সব ক্লাস্টিক পাললিক পাথর শুধু আংশিক ভাবেই ক্লাস্টিক। তাদের ক্লাস্টিক দানাগুলি পরস্পরের সঙ্গে রাসায়নিক উপায়ে অধঃক্ষেপিত সিমেণ্ট (cement) দিয়ে জোড়া থাকতে পারে। ক্যালসাইট ও কোয়ার্টজ, ক্যালসিয়াম কার্বনেট ও সিলিকা দিয়ে তৈরী প্রধান সিমেণ্টিং মিনারাল—এরা দানার ফাঁকে ফাঁকে থেকে তাদের জুড়ে রাখে।

পোরোসিটি (Porosity) ও পারমিয়েবিলিটি (Permeability)

বালি পাথরের পোরোসিটি হল খালি জায়গায় আয়তন ও পাথরের সমগ্র আয়তনের মধ্যের অনুপাত। পাললিক পাথরের fabric এর মধ্যে pore space একটি প্রয়োজনীয় অংশ।

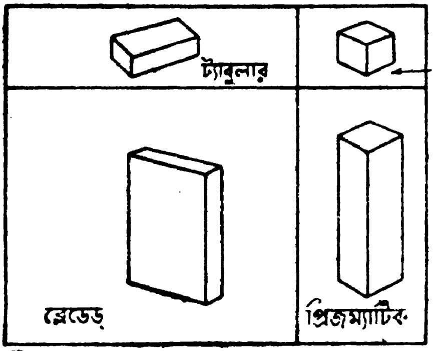
বালি পাথরের পোরোসিটি ঐ পাথরের দানার আকার, কত ঘেঁষা-ঘেঁষি করে দানাগুলি আছে এবং দানার বাছাই এর উপর নির্ভর করে।

পোর বা ছিদ্রযুক্ত পাথরের মধ্যে ফ্লুইডের সহজ প্রবাহকে পারমিয়েবিলিটি বলে। পারমিয়েবিলিটি পাললিক পাথরের একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ গুণ। কারণ এর উপর, খনিজ তৈল, গ্যাস ও জলের আধার হিসাবে পাথরের অর্থনৈতিক প্রয়োজনীয়তা খুব বেশী নির্ভর করে।

স্ফেরিসিটি (Sphericity) ও রাউণ্ডনেস (Roundness)

পলির দানার আকার সম্পূর্ণ গোলক আকার থেকে কতটা তফাৎ তার পরিমাপ হল দানার স্ফেরিসিটি কত। দানা লম্বা, চওড়া ও পুরু কত তার মাপ বেশ প্রয়োজনীয়, এবং এর উপর নির্ভর করে দানার আকারের শ্রেণী বিভাগ করা হয়। যেমন (1) গোলক আকার (Spheroidal) বা সমাকৃতি, ইকুয়াণ্ট (Equant) (2) ডিস্কের মত (disc shaped) বা ট্যাবুলার (oblate or tabular) রডের মত (rod-shaped) বা প্রিজমাটিক (prismatic or prolate), পাতলা ব্লেডের

মত (bladed)। Equant দানার লম্বা, চওড়া ও পুরুত্ব সমান হওয়ায় এদের আকার গোলকের অনেক কাছাকাছি এজন্য এদের স্ফেরিসিটি



চিত্র—58

পলির দানার স্ফেরিসিটির বিভিন্ন রূপ।

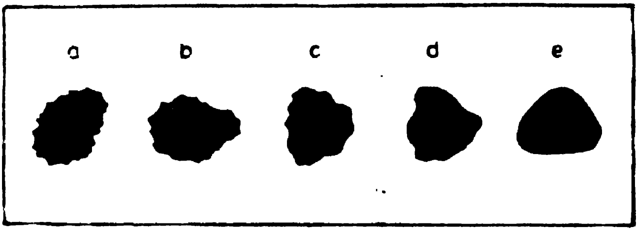
খুব বেশী। ব্লেডেড্ আকারের দানার sphericity খুব কম হতে পারে (চিত্র 58)। মনে রাখা দরকার যে এই আকারগুলি কোণযুক্ত নাও হতে পারে—এদের কোণগুলি বা ধারগুলি বেশ গোল হতে পারে। তাহলেও নামের পরিবর্তন হবে না।

দানার কোণ বা ধারগুলি কতখানি গোলাকৃতি তার উপর দানার যে গুণটি নির্ভর করে তাকে বলা হয় roundness। খুব কোণযুক্ত হলে কোণিত বা angular ও কম কোণযুক্ত হলে আকোণিত বা subangular। অগোলিত বা subrounded ও গোলিত বা rounded ও খুব ভালভাবে গোলিত হলে সুগোলিত বা well-rounded বলে। ছবিতে এই পাঁচ শ্রেণীর roundness দেখান হয়েছে (চিত্র 59)। এর মধ্যে কোণিতগুলির roundness সব চেয়ে কম।

স্ফেরিসিটি ও রাউন্ডনেস দুটি বিভিন্ন গুণ। এদের পার্থক্য বুঝতে ভ্রান্তি হতে পারে, সেজন্য সতর্ক হওয়া দরকার। মনে রাখতে হবে যে আকার যেমনই হোক না কেন রাউণ্ডিং নানা রকম হতে পারে। যেমন চৌকা দানা ও সম্পূর্ণ গোলাকার দানা দুইই সমাকৃতি (equant)। কিন্তু চৌকা দানা কোণিত ও গোলাকার দানা সুগোলিত। লম্বা প্রিজম আকৃতি হর্ণব্লেন্ড কেলাসে crystal face থাকলে কোণিত হবে, কিন্তু ক্ষয় হয়ে কোণগুলি সুগোলিত হলেও দানার লম্বা প্রিজম্যাটিক আকারই থাকবে।

প্যাকিং (Packing)

পাললিক পাথরের কঠিন কর্করীয় দানা বা খণ্ডগুলি অবক্ষেপণ হওয়ার সময় স্তূপীকৃত থাকে, এই দানা অথবা খণ্ডগুলি উপরের বা চারধারের দানার সঙ্গে যেভাবে সজ্জিত থাকে তাকে প্যাকিং (Packing) বলা হয়। সাধারণতঃ দানাগুলি একটি কাঠামো তৈরী করে এবং পরস্পরের ভার বহন করার জন্য স্পর্শকভাবে (tangentially)



চিত্র—59

কোণিত থেকে সুগোলিত বিভিন্ন রূপের পলির দানা (চিত্র 58 এবং 59, F. J. Pettijohn, 1967 অনুসারে)।

ছুঁয়ে থাকে। সাধারণতঃ দানা বা খণ্ডের ফাঁকে ফাঁকে শতকরা 35% ভাগ খালি জায়গা থাকে।

যেভাবে দানাগুলি অথবা পলির খণ্ডগুলি উপর উপর অবক্ষেপিত হয় তাকে এ্যাপোজিশনাল ফ্যাব্রিক (Appositional fabric) বলা হয়। পাললিক পাথরে এই হোল প্রাথমিক ফ্যাব্রিক। পলির দানাগুলি সম্পূর্ণ গোল না হওয়ার জন্য জলস্রোতের সঙ্গে অনেকক্ষেত্রে নুড়ি বা দানাগুলির লম্বা দিক বিশেষ দিকে নির্দিষ্ট হতে পারে। এইরূপ ক্ষেত্রে এনাইসোট্রপিক (anisotropic) ফ্যাব্রিক (fabric) দেখা যায়। কোনরূপ দিক-নির্দ্দিষ্টতা (orientation) না থাকলে আইসোট্রপিক (isotropic) ফ্যাব্রিক বলা হয়।

পলির দানার পরিমাপ

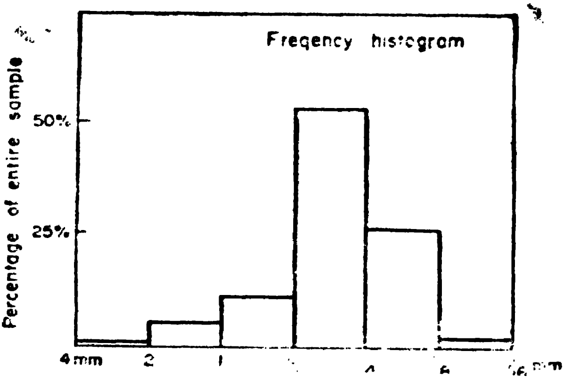
পলির মধ্যে কণাগুলির, একটির সঙ্গে অপরটির মাপের পার্থক্য থাকে। সবচেয়ে বড় থেকে সবচেয়ে ছোট কণা পর্যন্ত থাকার জন্য কণার মাপ (particle size) কতগুলি শ্রেণীতে (series of classes) ভাগ করা হয়। কণাগুলির মাপ ছোট থেকে বড় একদিক থেকে আর একদিক পর্য্যন্ত বিস্তৃত হওয়ার জন্য তাদের মধ্যে কতগুলি নির্দিষ্ট শ্রেণী বিভাগ করা প্রয়োজন; এই শ্রেণীগুলিকে বলে গ্রেড স্কেল

ওয়েণ্টওয়ার্থ গ্রেড স্কেল
(Wentworth grade Scale)

মিলি মিটার		পরিমাপের শ্রেণীর নাম	
		বোল্ডার Boulder	গ্রাভেল Gravel
	256		
		কবল্ Cobble	
	64		
		পেবল্ Pebble	
	4		
		গ্রানিউল Granule	
	2		
		খুব বড় দানা বালি Very coarse Sand	বালি Sand
	1		
		বড় দানা বালি Coarse Sand	
$\frac{1}{2}$ =	0·5		
		মাঝারি দানা বালি Medium Sand	
$\frac{1}{4}$ =	0·25		
		ছোট দানা বালি Fine Sand	
$\frac{1}{8}$ =	0·125		
		খুব ছোট দানা বালি Very fine Sand	
$\frac{1}{16}$ =	0·0625		
		বড় দানা সিল্ট Coarse Silt	কাদা Mud
$\frac{1}{32}$ =	0·031		
		মাঝারি দানা সিল্ট	
$\frac{1}{64}$ =	0·0156	Medium Silt	
		ছোট দানা সিল্ট	
$\frac{1}{128}$ =	0·0078	Fine Silt	
		খুব ছোট দানা সিল্ট Very fine Silt	
$\frac{1}{256}$ =	0·0039		
		ক্লে Clay	
	0·00006		

(grade scale)। এইভাবে পাললিক পদার্থের রীতিবদ্ধ (systematic) পরিমাপ প্রমিত (standardize) হয়েছে, এবং size distribution কে সুবিধামত অনেকগুলি শ্রেণীতে বিভক্ত করায় স্ট্যাটিস্টিক্যাল (Statistical) বিশ্লেষণ করা সম্ভব হয়।

একটি বোল্ডারের ব্যাস 1 মিটার, ও একটি ছোট কণার ব্যাস 1 মাইক্রন (·001 m.m) হতে পারে। ফলে বোল্ডারের মাপ ঐ কণার 10 লক্ষগুণ। এজন্য লিনিয়ার স্কেলের পরিবর্তে logarithmic scale এ গ্রেড স্কেল তৈরী করা হয়। 1898 সালে Udden যে গ্রেড স্কেল তৈরী করেন Wentworth (1922) তার কিছু পরিবর্তিত করেন এবং এই মানক বা স্কেল (scale) এখনও প্রচলিত আছে। এই স্কেলে 1 মিঃমিঃ থেকে আরম্ভ করে ½, ¼ ইত্যাদি একদিকে, অপরদিকে 1, 2, 4, 8 ইত্যাদি মিঃমিঃ স্কেলে দানার মাপগুলি ভাগ করা হয়। অর্থাৎ ½ বা 2 অনুপাতে (ratioতে) স্কেলটি তৈরী (পৃষ্ঠা 132)।



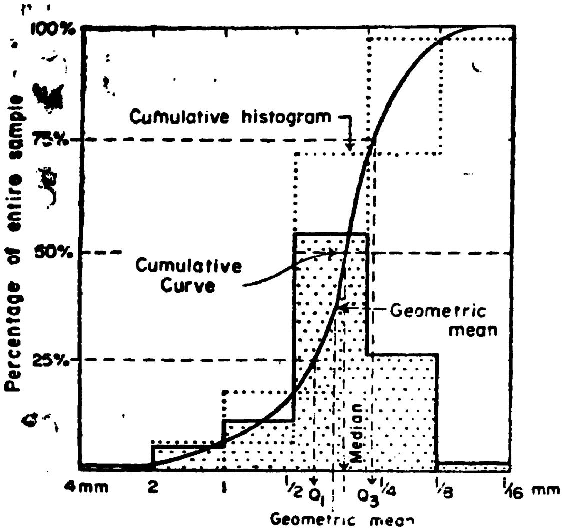
চিত্র—60

পলির দানার পরিমাপের ফ্রিকোয়েন্সী হিস্টোগ্রাম। এই থেকে সাইজ বারম্বারতা বন্টন বোঝা যায়।

এই স্কেলের তিনটি প্রধান শ্রেণীর খণ্ডিত (fragmental) পলির দানার ভাগ হল $\frac{1}{16}$ মিঃমিঃ এর তলায় কাদা (mud), $\frac{1}{16}$ – 2 মিঃমিঃ পর্যন্ত বালি, ও 2 মিঃমিঃ এর উপরে ব্যাসযুক্ত গ্রাভেল (gravel)। কয়েক সেণ্টিমিটারের থেকেও বড় হলে প্রত্যেকটি দানাকে মিটার স্টিক দিয়ে বা Calipers দিয়ে পলির সাইজ মাপা হয়। 0·062 mm পর্যন্ত কণাগুলিকে ছাকনি (screen) দিয়ে তফাৎ করা হয়। সিল্ট বা কাদার মত মাপের কণাগুলিকে pipette বা hydrometer দিয়ে তফাৎ করা যায়, কারণ কণাগুলি তাদের ব্যাস অনুসারে বিভিন্ন গতিবেগে জলের

মধ্যে ডুবতে থাকে। বালির কণাগুলিকে অনুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে micrometer scale দিয়ে মাপা যায়।

খণ্ডিত দানা পাথরের দানাগুলি বহু শ্রেণীর সাইজে বিভক্ত থাকে। (পলির এই সাইজ বারম্বারতা বণ্টন, size frequency distributionকে যান্ত্রিক বিশ্লেষণ বা mechanical analysis বলে)। এইরকম শ্রেণী বিভাগ ভালভাবে বোঝা যায় frequency histogram থেকে (চিত্র-60)। ছবিতে দেখান হয়েছে যে সমগ্র পলির কত শতাংশ পলি প্রতিটি সাইজ গ্রেডে রয়েছে। এই থেকে কিউমুলেটিভ হিস্টোগ্রাম (Cumulative histogram) তৈরী করা যায়—তাতে প্রত্যেকটি



চিত্র—61

পলির দানার পরিমাপের সঞ্চয়ী বক্র।

(চিত্র 60 এবং 61 C. Dunbar & J. Rodgers, 1958, অনুসারে)।

হিস্টোগ্রাম ব্লক (histogram block) কে তার বামদিকের যতগুলি ব্লক আছে তার সঙ্গে যোগ করা হয়েছে (চিত্র-61)। এতে প্রতি সাইজ গ্রেডে যত শতাংশ দানা আছে সেগুলিকে তার থেকে বড় দানাগুলির শতাংশের যোগফল হিসাবে দেওয়া হয়। Cumulative histogram block গুলির মধ্যের কোণগুলিকে সংযুক্ত করে যে রেখা টানা হয়েছে তাকে বলে সঞ্চয়ী বক্র (Cumulative Curve); এর থেকে সব সাইজের Cumulative distribution দেখা যায়। সঞ্চয়ী বক্রের (Cumulative Curve) এর 50 শতাংশ বিন্দুটি খুব প্রয়োজনীয়। এইটিকে median বলে কারণ ঠিক মধ্যবর্তী দানার সাইজ হল এর মত।

সঞ্চয়ী বক্রের (Cumulative Curve এর) উপর 25 এবং 75 শতাংশ বিন্দু দুটি বেশ প্রয়োজনীয়। এদের Q_1 and Q_3 বলে। এই সাইজ বারম্বারতা বণ্টন (size frequency distribution) থেকে পলির কতগুলি বিশেষ গুণ জানা যায়।

(1) গড় (Average) এর পরিমাপ হল মিডিয়ান 50 percentile। এর থেকে পলির গড় সাইজ, সব শ্রেণী সাইজের মধ্যবর্তী কিনা বোঝা যায়।

(2) দানার বাছাই (Sorting) এর পরিমাপ হল coefficient of sorting $=\sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$। Cumulative Curve সাইজ অনুসারে কত ছড়ান Sorting হোল তার পরিমাপ। খুব ভালভাবে বাছাই হওয়া পলির coefficient of sorting 1·0।

দেখা গেছে যে মরুভূমির বায়ু তাড়িত বালির পরিমাপের বিস্তার (size range) কম হয়। নদী বাহিত বালি সমুদ্রের বালির থেকে কম ভালভাবে বাছাই (well-sorted) হয়। আবার সমুদ্রের বিভিন্ন অংশের বালির মধ্যে সৈকতের বালির সবচেয়ে বেশী ভাল বাছাই দেখা যায়।

নন্-ক্লাস্টিক পাললিক পাথরের টেক্সচার

যে সব পাথর ক্লাস্টিক বা কর্করীয় পদার্থ দিয়ে তৈরী নয় তাদের টেক্সচার বা গ্রথন ক্লাস্টিক পাথরের টেক্সচারের মত হয় না। যেমন এই ধরণের পাথরের দানার রাউণ্ডনেস বা স্ফেরিসিটির কোন গুরুত্ব নেই।

নন্-ক্লাস্টিক পাথরের টেক্সচার কয়েকটি প্রক্রিয়ায় তৈরী হয়—(1) জলে দ্রবীভূত পদার্থে সরাসরি কেলাসন বা একাধিক লবণের মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে কেলাসন; (2) দানার সমষ্টির (aggregates) মধ্যে কেলাসের উৎপত্তি ও বৃদ্ধি, (3) কেলাসের প্রতিস্থাপন।

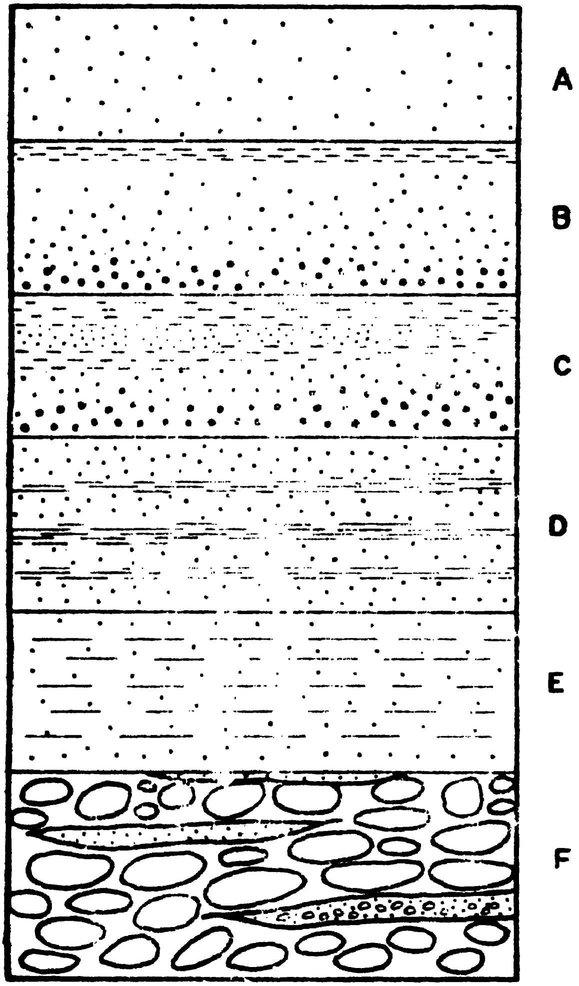
চুনাপাথরের ও ডলোমাইটের ক্ষেত্রে এবং ইভাপোরাইট ইত্যাদির ক্ষেত্রে নন্-ক্লাস্টিক টেক্সচার বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ এবং ঐ পাললিক পাথরদের বিবরণে আলোচনা করা হয়েছে।

পাললিক পাথরের গঠন

পাললিক পাথরকে স্তরের উপস্থিতি থেকে চেনা যায়। এক সেঃমিঃ বা তার থেকে বড় স্তরকে স্ট্রাটাম (stratum) অথবা বেড (bed) বলে। একটি স্ট্রাটাম বা বেড তার উপরের বা নীচেরটির থেকে বিভিন্ন লিথোলজীর (lithology) জন্য তফাৎ দেখায়। এই রকম স্ট্রাটামের

জন্য বোঝা যায় যে পলিগুলি একটির পর একটি স্তর অবক্ষেপণের জন্য তৈরী হয়েছে।

এক সেণ্টিমিটার থেকে পাতলা স্তরকে ল্যামিনা (lamina) বলে। অনেক সময় বড় দানাগুলির মধ্যে কোন স্তরায়ণের চিহ্ন দেখা যায় না।



চিত্র—62

বিভিন্ন রকম স্তরায়ণের উদাহরণ

A, E সমসত্ত্বতা যুক্ত স্তরায়ণ; B, C গ্রেডেড বেডিং যুক্ত স্তরায়ণ; D বালি-পাথরের স্তরের মধ্যে শেলের পাতলা স্তর; F কংগ্লোমারেট স্তরের মধ্যে বালি পাথরের লেন্স।

তবে ঐ স্তরের উপরে বা নীচে কাদা বা মাইকাযুক্ত লামিনা থাকায় এই রকম স্তরকে (বেড) তফাৎ করা যায়। সাধারণতঃ একটি স্তর বা

বেড (bed) বেশ সমসত্ত্ব (homogeneous) হয় (চিত্র-62 A, E)। অন্য কোন স্তর বা বেড থেকে এই স্তরের টেক্সচার ও উপাদান বিভিন্ন হতে পারে, যেজন্য স্তর দুটির মধ্যে তফাৎ করে চেনা সম্ভব হয়। যেমন, বালিপাথর ও কংগ্লোমারেট, চুনাপাথর ও শেল। কতগুলি একই রকম স্তরের মধ্যে খুব পাতলা স্তর থাকতে পারে, যেমন বালিপাথরের মধ্যে শেলের পাতলা স্তর (চিত্র-62D) যার দ্বারা একই রকম হওয়া সত্ত্বেও স্তরগুলিকে তফাৎ করা যায়। অনেক ক্ষেত্রে পাথরের উদ্ভেদ (outcrop) লক্ষ্য করলে দেখা যায় যে সমসত্ত্ব (homogeneous) পাথরের মধ্যেও আবহবিকারের (weathering) ফলে বিভিন্ন স্তরের বিভিন্নতা প্রকাশ পায়। তখন একাধিক বেডকে চেনা সম্ভব হয়।

স্তর বা বেডের মধ্যে সমসত্ত্বতা (homogeneity) সর্বত্র একরূপ না হতেও পারে, যেমন গ্রেডেড বেডিং (graded bedding) যুক্ত বালি পাথরের স্তরে তলার দিকে বড় দানা থাকে ও উপরের দিকে ক্রমাগত সূক্ষ্মদানা দেখা যায় (চিত্র 62B) ও উপরের অংশে সূক্ষ্মদানা যুক্ত শেল পাথর দেখা যায়। কোন কোন ক্ষেত্রে একটি বেডের মধ্যে অন্য রকম রং ও গ্রথনযুক্ত পাতলা স্তর থাকতে পারে, এ ক্ষেত্রে ঐ স্তরের মোটামুটি সমসত্ত্বতা নষ্ট হয় না। গ্রেডেড বেডিংযুক্ত স্তরের মধ্যে বালি পাথরের পাতলা লেন্সকে ঐ বেডের অংশ বলে গণ্য করা হয় (চিত্র 62C)। একটি কংগ্লোমারেট স্তরের মধ্যে বালি পাথর বা গ্রাভেল (gravel) লেন্স (lens) আকারে থাকতে পারে (চিত্র—62F) কিন্তু সমসত্ত্বতাযুক্ত না হলেও সব মিলে একটি বেড গঠন করে।

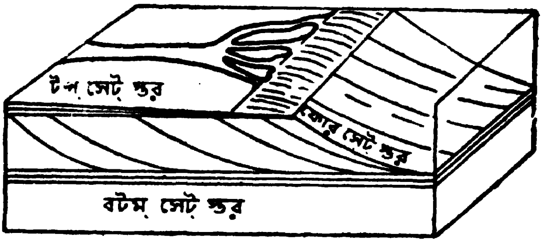
একটি স্তর এক বিশেষ অবস্থায় অবক্ষেপিত হয়। এরজন্য স্তরের নীচের সমতল ও উপরের সমতল স্তর অবক্ষেপিত হওয়ার সময়কার অবস্থার পরিবর্তন সূচনা করে। অর্থাৎ আগের স্তর যে অবস্থায় অবক্ষেপিত হয়েছে তার পরিবর্তন ঘটলে তবেই পরবর্তী স্তরের মধ্যে তফাৎ করে চেনার মত বৈশিষ্ট্য দেখা যেতে পারে। উপরের স্তরের ক্ষেত্রেও এই রকম পরিবর্তন সূচনা করে। তবে মনে করা যেতে পারে, যে এই পরিবর্তন যখন হয়েছিল তখন একস্তর অবক্ষেপিত হওয়ার পর অপর স্তর অবক্ষেপিত হওয়ার মধ্যে কিছু সময় অববাহিত হয়ে থাকতে পারে, অর্থাৎ দুই স্তর অবক্ষেপণের মধ্যে কালক্ষেপ বা time gap ছিল তার নির্দেশ এইভাবে জানা যেতে পারে।

ক্রশ-বেডিং (Cross bedding)

অনেক সময় উপরের বা নীচের স্তরের মধ্যবর্তী যে স্তর বা বেড তাকে তফাৎ করে চেনা যায় যদি তার মধ্যে বেডিং প্লেনের চিহ্ন হেলান দেখায়—এই রকম হলে ক্রশ-বেডিং বা ক্রশ-স্ট্র্যাটিফিকেশান বলে। (এই

রকম গঠনকে কারেণ্ট বেডিং (current bedding) বলা যাবে যদি স্রোতের দ্বারা তৈরী হয়েছে এই রকম প্রমাণ থাকে। সাধারণতঃ উৎপত্তি নির্দেশক কথাগুলি ব্যবহার না করে বিবরণ সূচক কথা ক্রশ-বেডিং ব্যবহার করা হয়।)

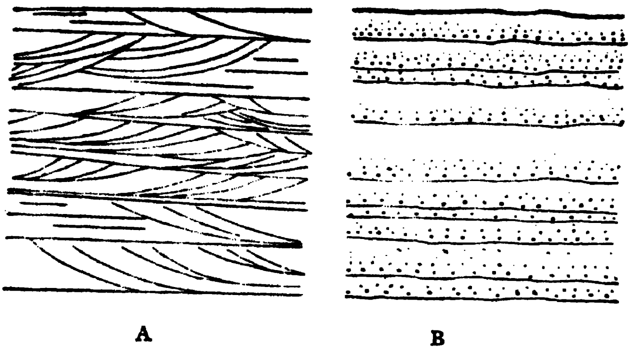
একটি ব-দ্বীপে নদী বাহিত পলি অবক্ষেপণের সময় বড় দানা পলি অবক্ষেপণ অঞ্চলে বেশী ঢালযুক্ত স্তরের সৃষ্টি করে একে ফোর-



চিত্র—63

ক্রস বেডিংযুক্ত স্তরায়ণের উৎপত্তি। বদ্বীপ অঞ্চলে টপ সেট্, ফোর সেট্ ও বটম্ সেট্ স্তরের উৎপত্তি।

সেট (Foreset) বলে। আর সূক্ষ্মদানা আরও দূরে অবক্ষেপিত হয় তাকে বটম সেট (bottom set) বলে। বটম সেটে সূক্ষ্মদানা স্তর



চিত্র—64

বালি পাথরের প্রধান দুই প্রকার গঠনের বিশেষত্ব।

চিত্র 64 A—ক্রশ বেডিং (যেমন অর্থোকোয়ার্টজাইট পাথরে থাকে)।
চিত্র 64 B—গ্রেডেড বেডিং (যেমন গ্রেওয়াকী পাথরে থাকে)।
(E. B. Bailey, 1936 অনুসারে)।

গভীর জলের দিকে খুব কম ঢাল যুক্ত স্তরে অবক্ষেপিত হয় ও পরে তৈরী ফোরসেট স্তরে চাপা পড়ে। ব-দ্বীপের উপরদিকে বন্যা-প্লাবিত

অঞ্চলে পলি অল্প ঢালযুক্ত হয়ে অবক্ষেপিত হয় ও ক্রমশঃ ফোরসেটের উপরে অগ্রসর হতে থাকে। এর ফলে টপসেট বেড (topset beds) তৈরী হয়।

বায়ুর দ্বারা অবক্ষেপিত বালিয়াড়ীতে ক্রশ-বেডিং দেখা যায়। সাধারণতঃ এই ক্রশ-বেডিং এর নতি বেশী হয় এবং বায়ু প্রবাহের দিক খুব পরিবর্তনশীল হতে পারে এজন্য এই ক্রশ-বেডিং এর মধ্যে এক একটি বেডের নতি সম্পূর্ণ বিভিন্ন এক এক দিকে হতে পারে (চিত্র—64A)।

গ্রেডেড বেডিং (Graded bedding)

অনেক পাললিক পাথরে ক্লাস্টিক দানাগুলির মাপ বেডের তলার দিক থেকে উপর দিকে ক্রমশঃ ছোট হয় (চিত্র 64B)। একে গ্রেডেড বেডিং বলে। এই রকম গ্রেডেড বেডিং সাধারণতঃ বহু লামিনি বা বেডের মধ্যে এবং কয়েক হাজার ফুট পুরু পাললিক পাথরের অঞ্চলে দেখা যেতে পারে। গ্রেডেড বেডিং ঘোলা জলের স্রোত (টার্বিডিটি কারেন্ট) দিয়ে অবক্ষেপিত হয়। E. B. Bailey (1936) প্রথম দেখিয়েছেন যে ক্রশ-বেডিংযুক্ত বালি পাথর ও গ্রেডেড বেডিংযুক্ত বালি পাথর দুটি সম্পূর্ণ বিভিন্ন পরিবেশে ও বিভিন্ন মাধ্যমের দ্বারা অবক্ষেপিত হয়। টার্বিডিটি কারেন্ট দ্বারা অবক্ষেপিত বালি-পাথরে ক্রশ-বেডিং ভাল দেখা যায় না। P. H. Kuenen and C. I. Migliorini (1950) দেখিয়েছেন যে (1) গ্রেডিং অর্থাৎ দানাগুলি তলায় বড় ও উপর দিকে ছোট হওয়া এবং (2) তারই সংগে সূক্ষ্ম কণাগুলি স্তরের মধ্যে আগাগোড়া থাকা—এই দুই বিশেষত্ব টার্বিডিটি কারেন্ট থেকে অবক্ষেপণের ফলেই হওয়া সম্ভব। একটি গ্রেডেড স্তরের বড় দানা বিশিষ্ট তলার অংশ তার নীচের গ্রেডেড স্তরের সূক্ষ্ম দানা বিশিষ্ট অংশের উপরে থাকে। গ্রেওয়াকী জাতীয় বালি-পাথর ও শেল বা স্লেট পাথর এই গ্রেডেড বেডিং দেখায়। ভারতবর্ষের সিমলা স্লেট ও গ্রেওয়াকীর মধ্যে এই গ্রেডেড বেডিং ভাল দেখা যায়।

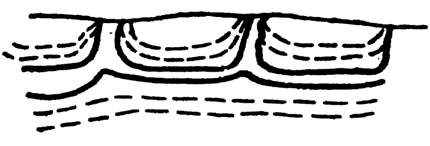
ভার্ভ (Varve)—আর এক প্রকার বেডিং দেখা যায় যার মধ্যে অসংখ্য পাতলা লামিনি পর পর থাকে। এগুলি হিমবাহ অঞ্চলের হ্রদের জলে অবক্ষেপিত হয়। গ্রীষ্মকালে ঐ অঞ্চলে বরফ গলা জল হ্রদে এসে পড়ে ও তার মধ্যে থেকে বড় দানাযুক্ত অংশ সংগে সংগে অবক্ষেপিত হয়, কিন্তু সূক্ষ্ম দানা অংশ ঐ ঠাণ্ডা জলে প্রলম্বিত (Suspended) থাকে। শীতকালে যখন হ্রদের সব চেয়ে উপরের জল জমে বরফ হয় তখন তার তলার জল থেকে সূক্ষ্ম কণাগুলি ধীরে ধীরে

নীচে নেমে অবক্ষেপিত হয়। এইভাবে অনেকটা গ্রেডেড বেডের মত এক জোড়া স্তর তৈরী হয়। তবে এই ভার্ভের বড় দানাযুক্ত স্তরেও কিন্তু ·25 মিঃমিঃ (Fine sand) থেকে বড় দানা থাকে না এবং তলায় বড় দানাযুক্ত ও উপরে সূক্ষ্ম দানাযুক্ত দুই অংশই ভাল বাছাই হওয়া দানায় তৈরী। ভার্ভের ঐ দুই অংশ মিলে এক বছরের পলি নির্দ্দেশ করে অর্থাৎ এরা বাৎসরিক অবক্ষেপ। গণ্ডোয়ানা যুগের তালচীর ফরমেশানে যে শেল ও সিল্টস্টোন পাওয়া গেছে তার মধ্যে ভার্ভ দেখা গেছে। তালচীর পাথরগুলির মধ্যে হিমযুগের নানান নিদর্শন দেখা যায়।

বালি পাথরের স্তর কাদা পাথর বা শেল-এর উপর থাকলে অনেক ক্ষেত্রে বালি পাথরের স্তরের তলায় কয়েক রকম গঠন (Sole markings) দেখা যায়।

(1) **ফ্লুট মার্কস** (Flutes or Flute marks)—কাদার স্তরের উপরিভাগে ক্ষয়ের জন্য বা কাদার উপরিভাগে কিছু অসমতা থাকার জন্য গোল কোরে চাঁছিয়া নেওয়ায় মত আকারের গর্ত তৈরী হয় তার উপর বালিপাথর জমা হয় ও তার তলায় উচু উচু হয়ে ঐ গর্তগুলির ছাঁচে ঢালাই করার মত আকৃতি তৈরী হয়। একে ফ্লুট মার্কস বলে। গ্রেডেড বেডিংযুক্ত বালি পাথরের তলায় এ রকম দেখা যায়।

(2) **লোড-কাস্ট** (Load-cast)—বালি পাথর (বিশেষ করে গ্রেওয়াকী) কাদার স্তরের উপর অবক্ষেপিত হলে, কাদার স্তর উপরে বালির স্তরের মধ্যে অনুপ্রবেশ (penetrate) করে। এর ফলে এই অনুপ্রবিষ্ট কাদা স্তরের গায়ের বালি পাথরে স্তরায়ণের চিহ্নগুলি উপর দিকে বক্র হয়ে যায়। এই রকম গঠনকে লোড কাষ্ট বলে।



0 10 সেঃমিঃ

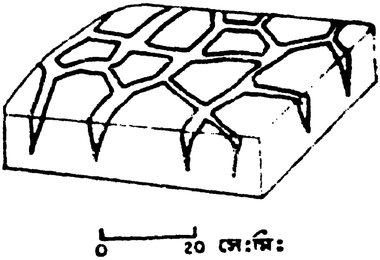
চিত্র—65 A

লোড কাস্ট (Load—Cast)

কাদার ফাটল (Mud cracks)— জলের মধ্যে কাদার স্তরের অবক্ষেপণের পর যখন কিছু সময়ের জন্য ঐ স্তরের উপর জল থাকে না এবং তা শুকাইতে থাকে তখন কাদাস্তরে ফাটল (crack) দেখা যায়। এই ফাটল 5 অথবা 6 বাহুযুক্ত আকার হয় এবং ঐ crack-

এর মধ্যে উপরের স্তর অবক্ষেপণের সময় বালি জমা হয়ে, স্থায়ী চিহ্নের সৃষ্টি করে। এই চিহ্নগুলির ফাটল উপরে বেশী চওড়া হয়ে তলার দিকে সরু হয়।

বৃষ্টির চিহ্ন (Rain drops)—বৃষ্টির জলের ছাট অনেক সময় বালি স্তরের উপর ছাপ রাখে। যদি এই ছাপ নষ্ট হওয়ার আগেই



চিত্র—65 B
কাদার ফাটল (Mud cracks)

নতুন পলির অবক্ষেপণ হয় তাহলে এই ছাপ স্থায়ীভাবে পাথরের স্তরের উপর থেকে যায়। কাদার ফাটল ও বৃষ্টি চিহ্ন এই দুইই স্থলীয় অবক্ষেপণের নির্দেশ করে।

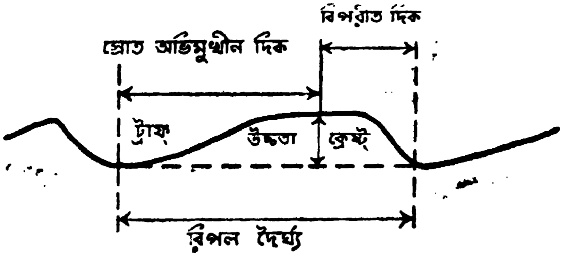
রিপল মার্ক (লহরী চিহ্ন) :

প্রবাহমান স্রোত বালির অবক্ষেপের উপর যাওয়ার সময় বালির কনাগুলিকে সরিয়ে দিতে পারে এবং সেজন্য বালির উপরিভাগে ছোট ঢেউ-এর মত আকার তৈরী হয়। এই স্রোতের চিহ্নগুলি সাধারণতঃ সমান্তরাল ভাবে লম্বা হয়ে সমান দূরত্বে পর পর সাজান থাকে। কোন কোন ক্ষেত্রে ঐ চিহ্নগুলি সমান্তরাল না হয়ে চাঁদের কলার মত বক্রাকার হয়। এই ছোট ঢেউ বা লহরীকে লহরী চিহ্ন (Ripple mark) বলে। তার বিভিন্ন অংশের নাম ছবিতে দেখান হয়েছে (চিত্র 66A)।

যেদিক থেকে স্রোত আসছে সেদিকে এই রিপলের ঢাল কম থাকে, আর স্রোত অভিমুখীন দিকের ঢাল খুব বেশী হয়। রিপলের দৈর্ঘ্য মাপ করা হয় এক লহরীর একটি বিন্দু থেকে অপর লহরীর সমতুল্য বিন্দু পর্যন্ত দূরত্ব হিসাব করে। একটি লহরীর সবচেয়ে নীচু বিন্দু থেকে সবচেয়ে উঁচু বিন্দু পর্যন্ত মাপকে উচ্চতা (height) বলা হয়।

এই রকম লহরী চিহ্ন জলের স্রোতের অথবা বাতাসের স্রোতের ফলে তৈরী হতে পারে। F. J. Pettijohn (1957) দেখিয়েছেন যে পাথরের মধ্যে যে লহরী চিহ্ন দেখা যায় তার সবগুলিই জলস্রোত দিয়ে তৈরী। লহরী চিহ্ন হোল ছোট মাপের গঠন ; সাধারণতঃ এর দৈর্ঘ্য কয়েক ইঞ্চি ও উচ্চতা এক ইঞ্চির সামান্য অংশ মাত্র।

কখনও কখনও এমন লহরী চিহ্ন দেখা যায় যার দুদিকের গঠন একই রকম হয়েছে, অর্থাৎ ঢালের তারতম্য নাই। এই রকম লহরী চিহ্ন

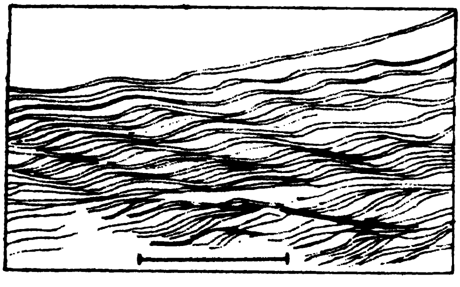


চিত্র—66 A
রিপল মার্ক (Ripple mark) এর আকারের বিশেষত্ব।

অগভীর ও স্থির জলের মধ্যে ঢেউএর (wave-action) ফলে তৈরী হয়। স্রোতের তৈরী লহরী চিহ্ন অগভীর জলে বেশী পাওয়া যায়, তবে গভীর জলেও দেখা গেছে।

লহরী স্তরায়ণ ঃ

পাললিক পাথরে অনেক ক্ষেত্রে লহরী চিহ্নগুলি পরপর স্তরে অবক্ষেপিত দেখা যায় এবং উপরের স্তরের লহরী চিহ্নগুলির অবস্থান তলার স্তরের লহরী চিহ্নের তুলনায় কিছু সরে গেছে এরকম দেখায় (চিত্র—66B)। এরকম লহরী চিহ্নযুক্ত স্তরায়নে ঐ চিহ্নগুলির বিন্যাস থেকে এক ধরণের ক্রশ লামিনেশান দেখা যায়, যাকে লহরী স্তরায়ণ (ripple lamination) অথবা ripple-drift cross lamina-



চিত্র—66 B
লহরী স্তরায়ণ (Ripple lamination)। সিন্ধু নদের অবক্ষেপণ।
(E. Mckee, 1966, অনুসারে)। দাঁড়ি চিহ্ন 1 ফুট।

tion বলা হয়। ভারী খনিজ দানা লহরীর গভীর অংশগুলিতে ও হাল্কা অভ্র জাতীয় খনিজ একটি লহরীর সামনের ঢালু অংশে সঞ্চিত হলে, এই রকম ক্রশ লামিনেশান সহজে দৃষ্টি আকর্ষণ করে।

নবম অধ্যায়

পলির উৎস, পরিবহণ ও অবক্ষেপণ

Source, Transport and Deposition of Sediments

পলির উৎস

কর্করীয় পলির (detrital sediments) উপাদান তার উৎস স্থানে যে পাথরের ক্ষয় থেকে তা সংগৃহীত হয়েছে সাধারণভাবে তার উপর নির্ভরশীল। উদাহরণ স্বরূপ বলা যায় যে ভারতের বিভিন্ন অঞ্চলে যে গ্রানাইট নাইস আছে তার থেকে বহু অঞ্চলের কর্করীয় পদার্থ সংগৃহীত হয়েছে।

উৎস স্থানের পাথর যখন ভেঙ্গে যায় তখন তার প্রধাণতঃ দুই রকমের ক্রিয়া চলে। (1) বিশরণ (disintigration) ঃ পাথরের উপর তাপাংকের পরিবর্তন, তুহিন (frost), হিমবাহের ঘর্ষণ, জল, বায়ু ইত্যাদির ক্রিয়ার ফলে রাসায়নিক বিযোজন না হয়ে ঐ পাথর যে ভেঙ্গে যায় তাকে বিশরণ বলে। বিশরণের ফলে যে কোনও পাথর থেকে বেশ কর্কশ ও খুব কোণযুক্ত খন্ড তৈরী হয় এবং এগুলি পাহাড়ের উপর বা নীচে সঞ্চিত হয়। এইরূপ খন্ড বা চূর্ণ সঞ্চয়কে টেলাস (talus) বা স্ক্রী (scree) বলে। ঐ পদার্থের খন্ড বা গুঁড়াগুলি পরস্পরের সঙ্গে জুড়ে গেলে অর্থাৎ Cemented হলে ব্রেকসিয়া (breccia) পাথর তৈরী হয়।

(2) বিযোজন (decomposition) ঃ পাথর বিযোজনের প্রধান মাধ্যম হল জল ও বায়ু। বৃষ্টির জল আকাশ থেকে নামার সময় বায়ুমণ্ডলের অক্সিজেন, কার্বন ডাই-অক্সাইড ও অন্যান্য গ্যাস দ্রবীভূত করে। এই অক্সিজেন ও কার্বন ডাই-অক্সাইড (CO_2) সমৃদ্ধ জল খনিজের উপর আক্রমণ চালাতে খুব সক্ষম। এছাড়া আছে মাটির নীচের জল (Ground water) যা পাথরের সঙ্গে বিক্রিয়ার ফলে অক্সিজেন ও CO_2 কিছু পরিমাণে হারালেও দ্রবীভূত লবণে খুব সমৃদ্ধ থাকে। সুতরাং বৃষ্টির জল ও মাটির নীচের জল উভয়ে মিলে পাথরের খনিজের বিযোজন করে।

বিযোজনের প্রধান পদ্ধতি হল—দ্রবণ, অক্সিডেশান, হাইড্রেশান ও কার্বনেশান। কোন কোন খনিজ ঐ পদ্ধতির দ্বারা বেশী আক্রান্ত হয় যেমন ফেলসপার, ফেরোম্যাগনেশিয়ান খনিজ ইত্যাদি; আবার কোন কোন খনিজ বিযোজনকে বাধা দেয়, যেমন কোয়ার্টজ, অভ্র ও জারকন।

বিযোজনের ফলে লোহাযুক্ত খনিজ থেকে লোহার অক্সাইড, হেমাটাইট বা হাইড্রক্সাইড লিমোনাইট তৈরী হয়, যার জন্য আবাহিক বিকার আক্রান্ত পাথরের রং লাল, ব্রাউন বা হলদে হয়। হাইড্রেশান হলে খনিজগুলি ভেঙ্গে যে যৌগিক পদার্থ তৈরী হয় তার মধ্যে জল (H_2O) বা OH থাকে। যেমন ম্যাগনেশিয়ামযুক্ত অলিভিন থেকে সার্পেন্টিন বা ট্যাল্ক্; বায়োটাইট বা অন্য ফেরোম্যাগনেশিয়ান খনিজ থেকে ক্লোরাইট্, ও স্বাধীনভাবে থাকা সিলিকা সৃষ্টি হয়। কার্বনেশান পদ্ধতিতে বিযোজনের ফলে খনিজ থেকে কার্বনেট তৈরী হয়। অনেক খনিজ এভাবে আক্রান্ত হতে পারে, যেমন সোডিয়াম, পটাশিয়াম অথবা ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেসিয়ামযুক্ত খনিজগুলি। এছাড়া সালফেট্ ও ক্লোরাইড্ জাতীয় যৌগিক পদার্থও তৈরী হয়।

বিযোজন ক্রিয়ার পর (1) যে সকল পদার্থ দ্রবীভূত হতে পারে (soluble substances) সেগুলি দ্রবণ তৈরী করে অন্যত্র অপসারিত হয়, (2) আর যে পদার্থগুলি দ্রবণের মধ্যে যায় না তার অদ্রবণীয় (insoluble residues) অবশিষ্টাংশ হিসাবে স্বস্থানেই থেকে যায়—যেমন অক্সাইড এবং সিলিকেট। আর (3) সঙ্গে কোয়ার্টজ বা অভ্র-জাতীয় খনিজ থাকে কারণ এদের আবাহিক বিকারে কোন ক্ষতি হয় না (unaltered minerals)।

কোন স্থানের পাথরের বিশরণ ও বিযোজনের ফলে প্রথমে একটি স্তূপের সৃষ্টি হয় যার মধ্যে থাকে ঐ পাথরের ভেঙ্গে যাওয়া খণ্ড বা গুঁড়া ও বিযোজনের ফলে সৃষ্টি হওয়া খনিজ, একে বলে রেগোলিথ (regolith)। রেগোলিথের উপরের সূক্ষ্মভাবে গুঁড়া অংশ পচা জৈব পদার্থের সঙ্গে মিশে যায় এবং তার সঙ্গে বায়ুর আদান প্রদান সহজভাবে হয়—এই অংশকে মাটি বা সয়েল (soil) বলে।

রেগোলিথ ঐ স্থানে বহুকাল থাকতে পারে, কিন্তু কোনও কোনও জায়গায় ক্ষয়ীভবনের জন্য অপসারিত হয়ে পলি তৈরী করে যা পরিশেষে কোনও মাধ্যমের দ্বারা বাহিত হয়ে অবক্ষেপণের অববাহিকাতে স্তরীভূত হয়। দ্রবীভূত পদার্থ নদীর জলের সঙ্গে সমুদ্রে গিয়ে পড়ে ও সমুদ্রের জলের লবণের অংশ বৃদ্ধি করে। বিরলক্ষেত্রে এই দ্রবীভূত পদার্থ মধ্যপথে কোথাও বাষ্পীভবনের ফলে কঠিন লবণ তৈরী করতে পারে। তবে আবার দ্রবীভূত হওয়ার আশঙ্কা খুব বেশী। দ্রবীভূত সিলিকা সাধারণতঃ বেশ তাড়াতাড়ি পুনরায় অবক্ষিপ্ত হয়; অন্য পাথরের দানার চারধারে সিমেন্ট তৈরী করতে পারে, অথবা শিরা বা ফাটলের গায়ে অবক্ষেপিত হয়।

সাধারণতঃ যে সব জায়গায় আবহাওয়া গরম, আর্দ্র, বেশ গাছপালা ঢাকা এবং নদীনালাযুক্ত, সেই অঞ্চলে রাসায়নিক বিযোজন খুব কার্যকরী হয়। বিপরীত দিকে ঠাণ্ডা, শুষ্ক আবহাওয়াযুক্ত অঞ্চলে তা বাধাপ্রাপ্ত হয়। আবহবিকার বেশ মন্থর গতিতে হয়। আর ক্ষয়ীভবন মন্থর গতিতে অথবা দ্রুত গতিতে হতে পারে। মন্থর গতিতে ক্ষয়ীভবন হলে কোনও স্থানে আবহবিকারের ফলে পক্ক মাটি (mature soil) স্বস্থানে পাথরের উপর থাকতে পারে। এরকম ক্ষেত্রে আবহাওয়া ও জৈব ক্রিয়া বেশী প্রভাব বিস্তার করে ও উৎস পাথরের প্রভাব কম হতে পারে। কিন্তু যদি ক্ষয়ীভবন খুব তাড়াতাড়ি হয় যেমন পাহাড় অঞ্চলে বা বেশী বন্ধুরতাযুক্ত স্থানে ও অতিবৃষ্টিযুক্ত স্থানে পাথরের গুঁড়া বা খণ্ড স্থানীয় পাথর থেকে বিচ্যুত হলেই বিযোজন হওয়ার পূর্বেই অপসারিত হয়। এক্ষেত্রে আবহাওয়া যাই হোক না কেন কর্করীয় পলি উৎস পাথরের মত খনিজযুক্ত হবে। এই কারণে ট্রপিক্যাল অঞ্চলেও ফেলসপারযুক্ত (অর্থাৎ unstable খনিজযুক্ত) আরকোজ (arkose) পাথর তৈরী হতে পারে। আবার ক্ষয়ীভবনের হার (rate of erosion) কত পরিমাণে পলি বাহিত হয়ে অবক্ষেপণের স্থানে যাবে তা স্থির করে, এজন্য বলা যায় যে অবক্ষেপণের হার (rate of deposition) আংশিক ভাবে ক্ষয়ীভবনের হারের উপর নির্ভর করে।

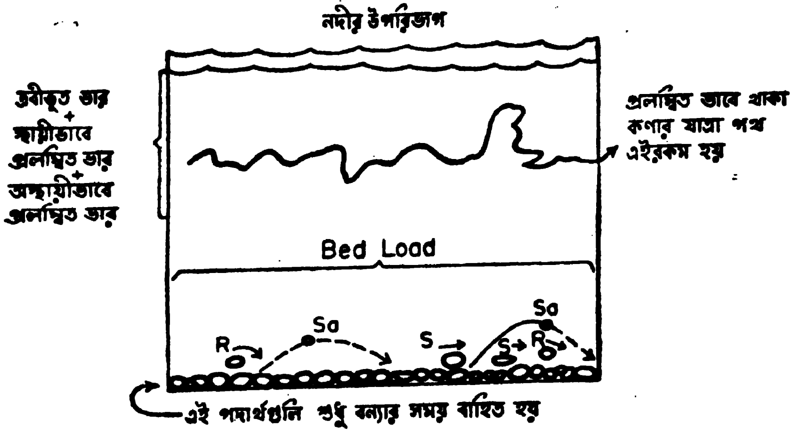
যেহেতু কোনও অঞ্চলের বন্ধুরতা (relief) ঐ অঞ্চলের টেক্‌টনিজমের (tectonism) উপর নির্ভর করে, সেইজন্য বলা যায় যে "The character of coarser sediments is an index of tectonism."

পলি পরিবহণ

পাথরের আবহবিকারের ফলে যে পলির সৃষ্টি হয় তা প্রধানতঃ তিন মাধ্যমের সাহায্যে উৎস স্থান থেকে অবক্ষেপণের জায়গায় পরিবাহিত হয়। এই তিন মাধ্যম হোল জল, বরফ ও বায়ু। খুব অল্প দূরত্ব থেকে আরম্ভ করে খুব বেশী দূরত্ব পর্যন্ত পলি পরিবাহিত হতে পারে। এমনকি আগ্নেয়গিরি থেকে নির্গত ছাই ধূলার আকারে বায়ুমণ্ডলে সারা পৃথিবী ব্যাপী বিস্তার করে।

নদীখাতে যত পরিমাণ পলি পরিবাহিত হয় তাকে ঐ নদীর ভার বা Load বলা হয়; স্রোতের বেগ কম হলে কণাগুলি নদীর খাতের

তলদেশে গড়াতে থাকে ও পিছলে যায়। বালির মত বড় দানা আরও সহজে পরিবাহিত হয় কারণ তারা বড় হওয়ায় জলের স্রোত তাদের গায়ে আরও বেশী চাপ দিতে পারে। আরও বেশী বেগ হলে জলে ছোট ঢেউ (ripple) তৈরী হয় এবং এক একটি দানার চলাচল তালে তালে ঘটে, যেমন এগুলি কিছু দূর পরিবাহিত হয় আবার কিছু সময় স্থির হয়ে থাকে। স্রোতের বেগ আরও বেশী হলে ছোট ঢেউ (ripple) আর থাকে না এবং নদী খাতের তলার সব পলি জলের সঙ্গে মিলে বেগে পরিবাহিত হয়।



চিত্র—67

নদীদ্বারা বাহিত নানা রকম ভারের বৈশিষ্ট্য। বেড লোড অর্থাৎ নদীখাতের ভারগুলি নিম্নলিখিত ভাবে পরিবাহিত হয়:

R—চিহ্নিত পদার্থগুলি গড়িয়ে; S—নদীর তলদেশে ঘষে বা পিছলে; Sa—নদীর তলদেশে এক স্থান থেকে কিছু দূরে লাফিয়ে পরিবাহিত হয়।

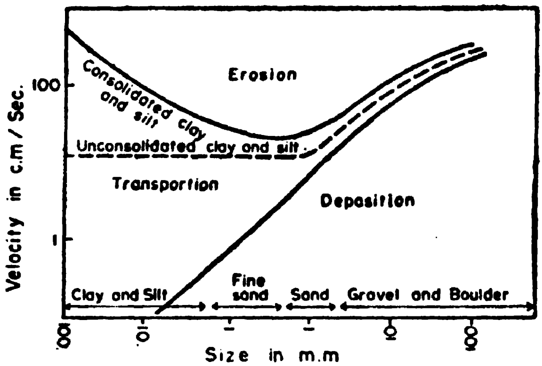
(R. Garrels, 1951; R. Siever, 1971 অনুসারে)।

নদীখাতের পলি (bed load) স্রোতের দিকে পরিবাহিত হয়। তবে বেশীর ভাগ ক্ষেত্রে এই পলির পরিমাণ কম হয়—কিন্তু পাহাড়ে নদীর ক্ষেত্রে খাতের পলি বেশী হয়। জলের মধ্যে পাথরের কণার ডুবে যাওয়ার গতি তার আকার, তার ব্যাস ও আপেক্ষিক গুরুত্ব জলের তুলনায় কত বেশী এবং জলের সান্দ্রতা (viscosity) কত—এই সবের উপর নির্ভর করে। এজন্য বড় নুড়ি খুব তাড়াতাড়ি ডুবে যায় এবং ছোট কণা খুব আস্তে আস্তে ডোবে।

সাধারণতঃ বারে বারে নদীখাতের তলদেশের ক্ষয়ীভবন ও ক্ষয়ের দ্বারা অপসারিত দানাগুলির আবার অস্থায়ীভাবে অন্যত্র সঞ্চয় (অবক্ষেপণ) এইভাবে প্রবাহমান জলের দ্বারা পলির পরিবহণ ঘটে।

পলি নদীর তলদেশে পড়ে থাকলে জলের গতিবেগ যথেষ্ট না হলে ঐ পলি নড়ে না। F. Hjulstrom পরীক্ষা করে দেখিয়েছেন যে পলির কণা তোলা, বহন করা অথবা ফেলে দেওয়ার (অর্থাৎ অবক্ষেপণ করার) ক্ষমতা প্রবাহমান জলের কতটা থাকে। ছবিতে হিউলস্ট্রমের তৈরী গ্রাফ দেখান হয়েছে। তার একদিকে দানার সাইজ ও অন্য দিকে দেখান হয়েছে জলের গতিবেগ (প্রতি সেকেণ্ডে সেণ্টিমিটার হিসাবে)। তবে এই গ্রাফের স্থানাঙ্ক (Co-ordinates) logarithmic scale এ আছে, এজন্য বিভাগগুলি সমান নয়। (চিত্র—68)।

এই ছবি থেকে দেখা যাবে যে জলের গতিবেগ যত তাড়াতাড়ি বাড়ান যায়, তার থেকে তাড়াতাড়ি পরিবাহিত পলি কনার সাইজ বেড়ে



চিত্র—68

পলির দানার পরিমাপ ও স্রোতের গতিবেগের উপর নির্ভর করে ক্ষয়ীভবন পরিবহণ ও অবক্ষেপণের বিভিন্ন ক্ষেত্র।

(A. Sundborg, 1965 অনুসারে)।

যায়। আর একটি প্রসঙ্গ বেশ অবাক হওয়ার মত—তা হল যে সূক্ষ্মদানা কাদার কণাগুলি একবার তলায় শক্তভাবে সংগঠিত হলে তাদের উপর প্রবাহিত জল আবার তাদের সহজে তুলতে পারে না, তারজন্য আরও বেশী গতিবেগ লাগে। তবে একবার জলের মধ্যে প্রলম্বিত (Suspended) হলে, ঐ অবস্থাতেই থাকে এবং সেই রকম থাকার জন্য অতি সামান্য গতিবেগ দরকার হয়। যে গতিবেগ জলপ্রবাহকে কণাগুলিকে তোলবার মত ক্ষমতা দেয় অর্থাৎ ক্ষয়ীভবন করার মত শক্তি দেয় তা হল "পরিবহন জোন" এর উপরদিকের সীমা। তলার দিকের সীমারেখা থেকে বোঝা যায় যে ঐরকম গতিবেগে কণাগুলিকে শুধু নড়াবার মত ক্ষমতা জলের থাকে।

যদি জলের গতিবেগ এই ন্যূনতম গতিবেগেরও কম হয় তাহলে কণাগুলি পড়ে যাবে, গড়িয়ে যাওয়া বন্ধ হবে ও অবক্ষেপণ হবে। A. Sundborg দেখিয়েছেন যে সূক্ষ্মকণার পলি যদি সংসক্তিযুক্ত (cohesive) অর্থাৎ পরস্পরের সঙ্গে লেগে থাকে তাহলেই খালি তাকে সরাতে জলের বেশী গতিবেগ লাগে। তবে বেশীরভাগ কাদার ক্ষেত্রে সংসক্তিজনিত বল (cohesive forces) বেশী জোরাল হয়, বিশেষ করে কিছু কম্‌প্যাক্‌শান হবার পর। এই কারণে কাদাতে দানাগুলি খুব সূক্ষ্ম হলেও, বালির চেয়ে কাদাকে অবক্ষয় (erode) করা শক্ত।

কোন কোন ক্ষেত্রে দেখা যায় যে পলি+জল, এই মিশ্রণ মোটামুটি প্ল্যাস্টিক বা ফ্লুইড অবস্থায় পরিবাহিত হচ্ছে—এই রকমভাবে mud-stream চলমান থাকে। অর্থাৎ মাড্‌ ফ্লো (mud flow) একটি প্লাস্টিক কঠিন পদার্থ অথবা একটি অতিরিক্ত ভিসকাস্‌ (অর্থাৎ খুব কম ফ্লুইডিটি যুক্ত) তরল পদার্থের মত চলতে থাকে। এরা অবশ্য স্থলের উপর অথবা জলের তলায় চলতে পারে। মাড্‌ ফ্লোর বেশী ভিসকোসিটি থাকার জন্য পাথরের বড় বড় খণ্ড সামান্য ঢালের উপরও পরিবাহিত হতে পারে।

টারবিডিটি কারেণ্ট (Turbidity Current) ঃ পলি মিশ্রিত ঘোলা জল অন্য জলের তুলনায় বেশী আপেক্ষিক গুরুত্ব যুক্ত হয় এবং সমুদ্রের জলের মধ্যে এই রকম জলের স্রোতকে Turbidity Current বলা হয়। যখন একটি বেশী ঢালযুক্ত স্থানের উপর দিকে পলি হঠাৎ আলোড়িত হয়ে ঢালদিয়ে নামতে থাকে তখন এই স্রোত তৈরী হয়। টারবিডিটি কারেন্ট নদীর মোহনার কাছে এবং অন্তরীপের কাছে মহীঢালের ধারে তৈরী হয়, তাদের হঠাৎ বেগে আরম্ভ হওয়ার সূত্রপাত হয় যখন ভূকম্পন, ঘূর্ণীঝড়, বন্যা অথবা কখন কখন শুধুই নদীর খাতের পলি মহীঢালের উপর অবক্ষেপিত হয়। R. A. Daly প্রথমে টারবিডিটি কারেণ্ট চলার সময় সমুদ্র গর্ভ ক্ষয় করে খাতের (Submarine Canyon) সৃষ্টি করে, এই বৈজ্ঞানিক মত প্রকাশ করেন। 1929 সালে নিউ ফাউন্ডল্যান্ডের দক্ষিণ-পূর্বে অবস্থিত Grand Banks এর ভূমিকম্পের জন্য সমুদ্রগর্ভে অবস্থিত এপিসেণ্টার থেকে 400 মাইল দূর অবধি টেলিগ্রাফের অনেক তার (cable) ভূমিকম্পের 13 ঘণ্টা পর পর্যন্ত ছিড়ে যাওয়ায়—এইরকম ক্ষয় করার মত শক্তি টারবিডিটি কারেণ্টের আছে বলে প্রমাণিত হয়। P. H. Kcunen পরীক্ষা করে দেখিয়েছেন যে পলি বহনকারী জল তলার ঢাল দিয়ে বয়ে চলে ও সহজেই বেশী গতিবেগ লাভ করে ও ক্ষয় করে। পরে সমুদ্রতলে

ঢাল যেখানে কমে গেছে সেই জায়গায় গতিবেগ কমে যায়। তার ফলে এই স্রোতের বহন ক্ষমতাও কমে যাওয়ায় প্রথমে বড় দানা পলির অবক্ষেপণ হয় ও ক্রমে আরও সূক্ষ্ম দানা পলি তার উপর পড়তে থাকে। এর ফলে একটি গ্রেডেড্ স্তর (graded bed) তৈরী হয়, যার তলা থেকে উপর দিকে দানা ক্রমাগত সূক্ষ্ম। একে graded bedding বলা হয়। Grand Banks এর টার্বিডিটি কারেণ্ট যে অঞ্চলে ছড়িয়ে পড়েছিল বলে অনুমান করা হয় সেই অঞ্চলের গভীর সমুদ্রের তলার Core সংগ্রহ করে গ্রেডেড্ বেডিংযুক্ত মোটা স্তর পাওয়া গেছে। এই থেকে প্রমাণিত হয়েছে যে গভীর সমুদ্রে এই টার্বিডিটি কারেণ্ট গ্রেডেড বেডিংযুক্ত পলির স্তর অবক্ষেপণ করতে পারে। গভীর সমুদ্রের অনেক স্থানে গভীর অঞ্চলের স্বাভাবিক সূক্ষ্ম পলির সঙ্গে মোট দানার পলির গ্রেডেড্ স্তর ও তার সঙ্গে অগভীর জলের জীবাশ্ম পাওয়া যায়—এগুলিও টার্বিডিটি কারেণ্টের জন্য সম্ভব।

বায়ুর ক্ষমতা পলি পরিবহন কাজে জলের থেকে কম। বায়ুর গতি কিন্তু জলের গতির চেয়ে খুব বেশী তীব্র হতে পারে, এজন্য বায়ু অতি সূক্ষ্ম কণা খুব বেশী পরিমাণে পরিবাহিত করতে পারে। বড় কণা অপেক্ষা সূক্ষ্ম কণাগুলি বায়ুর বেগে প্রলম্বিত হয়ে (উপরে উড়িয়ে নিয়ে) বহু দূরে পরিবাহিত হয়। এজন্য বড় বালির দানাগুলি প্রায় বেশীর ভাগই মাটির উপরে বেড লোড (bed load) হিসাবে পরিবাহিত হয়। পরিবাহিত হওয়ার সময় বালির কণার উপর খুব তীব্র ধাক্কা (impact) লাগে। এজন্য তাদের তাড়াতাড়ি ক্ষয় হয়। এই কারণে কণার কোণগুলি ও ধারগুলি বেশ গোলাকার হয় এবং উপরিভাগ ঘষে যায় (frosted হয়)। আগ্নেয়গিরি উদ্গিরণের সময় ছাই ও বালির কণা বায়ুর মধ্যে ছড়িয়ে পড়ে এবং যতক্ষণ না বৃষ্টির জল তাদের ধুয়ে বায়ুমণ্ডল থেকে নীচে অপসারিত করে ততক্ষণ ঐ অবস্থায় উড়তে থাকে।

হিমবাহ প্রধানতঃ তাদের উৎসের কাছ থেকে পলির ভার সংগ্রহ করে। তাছাড়া যে পাথরের উপর দিয়ে হিমবাহ প্রবাহিত হয় সেখান থেকেও পলির ভার সংগ্রহ করে। হিমবাহ অতি প্রকাণ্ড পাথরের খণ্ডকেও পরিবাহিত করতে পারে। হিমবাহের অবক্ষেপণে পলির মধ্যে যে কোনও আকারের ও পরিমাপের খণ্ড বা গুঁড়া মিশ্রিত থাকে এবং পাথরগুলি আবহবিকৃত অথবা তাজা অবস্থায় থাকতে পারে। বড় খণ্ডগুলির গায়ে বিশেষভাবে আঁচড় কাটা (striated) থাকে।

অনেকক্ষেত্রে পলি বেশ জটিল ও সুদীর্ঘ অবস্থার মধ্য দিয়ে অবশেষে এখনকার অবস্থায় দেখা যায়। যেমন পলি এক মাধ্যম দিয়ে

পরিবাহিত হয়ে পরে অন্য মাধ্যমের প্রভাবে পরিবাহিত হতে পারে এবং প্রতি মাধ্যমই কিছু স্থায়ী চিহ্ন পলির উপর রেখে যায়। কোন কোন ক্ষেত্রে পাললিক পাথরের দানার মধ্যে এই সব চিহ্নের বৈশিষ্ট্য দেখে তাদের পরিবহণের মাধ্যমের বিষয় জানা যায়।

পলি অবক্ষেপণের পরিবেশ

(Environments of deposition)

কোনও এলাকার পলি কিরকম হবে তা কতকগুলি অবস্থার উপর নির্ভর করে। যেমন ঐ এলাকার ভৌগোলিক অবস্থান, জায়গাটি সামুদ্রিক বা অ-সামুদ্রিক, অথবা নীচু জায়গার অংশ না পাহাড়ের কাছে, অথবা মহী-সোপানের উপর অবস্থিত—এই এলাকার আবহাওয়া আর্দ্র না শুষ্ক, গরম না ঠাণ্ডা। এই সব অবস্থার ভৌগোলিক পরিবেশ ঠিক করে স্থলীয় পরিবেশ।

ক মহাদেশীয় পরিবেশ (Terrigenous environment)—স্থলভাগের পরিবেশকে কয়েকটি ভাগে ভাগ করা যায়। (1) পাহাড় অঞ্চলের গায়ে খুব ঢালযুক্ত এলাকার পাহাড়ে নদীর সঙ্গে alluvial fan বা পাখার আকারে ক্রমে নীচের দিকে চওড়া হয়ে পলির অবক্ষেপণ হয়। পাহাড়ের গায়ে একের পর এক এই এল্যুভিয়াল ফ্যানগুলি নীচের দিকে পরস্পরের সঙ্গে মিশে বিশাল পলি এলাকা তৈরী করে। এই পলি তলার দিকে কয়েক হাজার ফিট্ পুরু হতে পারে এবং পলির দানার পরিমাপ খুব কম বা বেশী হতে পারে। দানার বাছাই এবং স্তরায়নও ভাল হয় না। এই অবক্ষেপণের সঙ্গে পাহাড়ে নদী কাদার চওড়া স্তর তৈরী করতে পারে। এইরকম পাহাড় অঞ্চলের সামনের অবক্ষেপণকে পিয়েড্মণ্ট্ ডিপসিট্ (Piedmont deposit) বলা হয়। ইউরোপের আল্পস্ ও ভারতের হিমালয় পাহাড়ের (যেমন তিস্তা নদীতে সেবক নামক এলাকায়) পিয়েড্মণ্ট্ ডিপসিট্ বেশ আর্দ্র আবহাওয়াতে সৃষ্টি হয়েছে (চিত্র 69)। অন্যত্র, যেমন আমেরিকার সিয়েরা নেভাদা পার্বত্য অঞ্চলে শুষ্ক বা প্রায়-শুষ্ক আবহাওয়াতে এই অবক্ষেপণ হয়েছে অর্থাৎ যে কোনও আবহাওয়াতেই এই ধরনের পলির অবক্ষেপণ হতে পারে।

(2) নদীর খাত ও তার সঙ্গে যে বন্যা প্লাবিত ভূমি (Flood plain) থাকে সেখানে পলি অবক্ষেপণের বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ পরিবেশ দেখা যায়। এই বন্যা প্লাবিত অঞ্চলের পলির বৈশিষ্ট্য আবহাওয়ার

উপর বেশী নির্ভর করে। পলিমাটি অঞ্চলের পরিবেশে যে পলি সঞ্চয় হয় তা বোল্ডার থেকে কাদা পর্যন্ত যে কোনও মাপের হতে পারে। নদীর খাতে যে অবক্ষেপণ হয় তাতে তলায় বড় দানা থাকে ও উপর দিকে কিছু ছোট দানাযুক্ত হয়। তবে নদীর খাত স্থান পরিবর্তন করলে, এই পূর্বেকার খাতে পলির উপর বন্যার জল বাহিত পলি সঞ্চয় হতে পারে। কারণ বন্যার সময় নদীখাতে দুধারে জল ছড়িয়ে পড়ে ও তার থেকে সিল্ট্ খুব ছোট কণার বালি, ও বালি সঞ্চয় হয়ে "natural levees" তৈরী করে। এই লেভী নদীখাতের

চিত্র—70

পুরান নদীর বন্যা প্লাবিত ভূমির পলির অবক্ষেপের প্রস্থচ্ছেদ। নদীখাতের বহু অবক্ষেপ লেন্সের আকারে দেখা যায়।

কাছে বেশী পুরু ও দূরে কম পুরু হয় ও নদী থেকে বিপরীত দিকে ঢালযুক্ত হয়। নদী পুরান খাত ত্যাগ করে নতুন খাত সৃষ্টি করলে লেভীকে কাটতে পারে ও নতুন বক্রাকার মিয়্যাণ্ডার (meander) খাত তৈরী করতে পারে ও নতুন খাতে আবার বড় দানার পলি সঞ্চয় হয়। পুরান নদীর এইরকম Flood plain deposit এর একটি প্রস্থচ্ছেদ তৈরী করলে দেখা যাবে যে এক একটি লেন্সের আকারে নদী খাতের অবক্ষেপ আছে এবং কয়েকটি এইরকম লেন্স্ ছড়িয়ে আছে ফ্লাড্ প্লেনের লেভী অবক্ষেপের মধ্যে (চিত্র 70)। যেখানে নদীর পলি অঞ্চল সমুদ্রে এসে পড়েছে সেখানে মহাদেশীয় পরিবেশের বদলে সামুদ্রিক পরিবেশ দেখা যায়। পলির শেল পাথর ক্রমে অগভীর সামুদ্রিক স্তরে পরিণত হয়।

(3) হ্রদের পরিবেশ (Lacustrine environment)—হ্রদের পরিবেশের বিশেষত্ব এই যে এখানে গভীরতা কম, স্রোত দুর্বল ও জলের গভীরতা ঋতুর সঙ্গে পরিবর্তনশীল। নাতিশীতোষ্ণ অঞ্চলে হ্রদের তলার ও উপরের জলের তাপাঙ্কের মধ্যে বেশী পার্থক্য হয়, এজন্য তলার জল উপরে উঠে আসে ও উপরের ঠাণ্ডা জল নীচের দিকে যায় (একে বলা হয় Convective overturn)। এর জন্য হ্রদের জলের নীচের অংশও বেশ অক্সিজেন পায় ও জৈব পদার্থ তৈরী হতে পারে। গ্রীষ্মপ্রধান অঞ্চলে এইরকম পরিচলন জনিত পরিবর্তন সম্ভব হয় না, সেজন্য তলার জল অচল থাকে।

হ্রদের পলি হল সূক্ষ্ম দানার সিল্ট্, কাদা ও মার্ল (জৈব ও রাসায়নিক উপায়ে তৈরী)। হ্রদের তীরের পাশে ছোটদানার বালি, শেল, উওলাইট্ ও এলগ্যাল চুনা পাথর থাকতে পারে। কোনও কোনও অঞ্চলে নদীর বন্যা প্লাবিত এলাকার মধ্যে হ্রদ থাকতে পারে অথবা হিমবাহের অঞ্চলে হ্রদ থাকতে পারে। এ ক্ষেত্রে হ্রদের সঙ্গে নদী বা হিমবাহের পলির তফাৎ করা কঠিন।

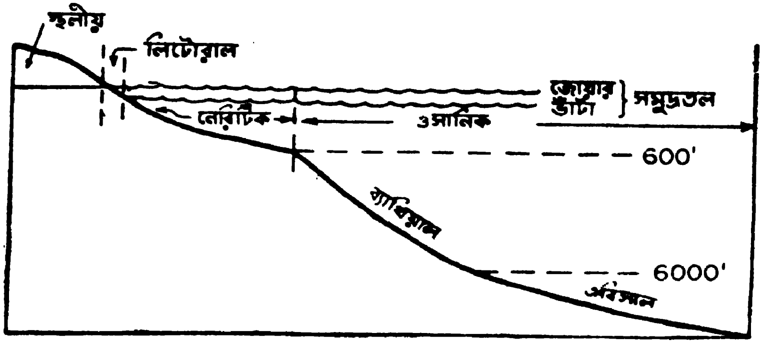
(4) মরুভূমির পরিবেশ (Desert environment)—মরুভূমির পরিবেশে বায়ু, হ্রদ ও ছোট নদীর অবক্ষেপের মিশ্রিত ফল দেখা যায়। এই অঞ্চলে বেশী ঢালযুক্ত অংশে নুড়ি (cobble ও pebble) ফ্যান্-গ্লোমারেট্ পাথর তৈরী করে। বায়ু পরিবাহিত বালি করে বালিয়াড়ি (ডিউন) এবং নীচু অঞ্চলের হ্রদে সূক্ষ্ম দানার অবক্ষেপের সঙ্গে বাষ্পীভবনের জন্য রাসায়নিক অধঃক্ষেপের ফলে ইভাপোরাইট সঞ্চয় হয়। বালিয়াড়ির বালির উপর রিপ্‌ল্ মার্ক ও হ্রদের তট অঞ্চলের কাদায় মাড্ ক্র্যাক্ দেখা যায়।

(5) জলার পরিবেশ (Swamp environment)—যে অঞ্চলে অগভীর জল প্রায় স্থির হয়ে থাকে ও প্রচুর উদ্ভিদ জন্মে তাকে জলার পরিবেশ বলে। জলার জল মিঠে (fresh water) বা বিস্বাদ (brackish water) হতে পারে। জলাভূমির মধ্যে কাদা ও সিল্ট্ অবক্ষেপন হয় এবং দ্রবীভূত লবণ ও গ্যাস থেকে অবাত (anaerobic) অবস্থার সৃষ্টি হয়। এইরকম ভাবে কয়লা ও টারশিয়ারী যুগের লিগনাইটের সঙ্গে কার্বনেসিয়াস্ শেল্, ফায়ার ক্লে ও চুনা পাথরের পাতলাস্তর থাকতে পারে।

(6) হিমবাহের পরিবেশ (Glacial environment)—হিমবাহের কাজ বিশদভাবে Glacial Geology-তে আলোচনা করা হয়। Pleistocene age এ পৃথিবীব্যাপী হিমযুগের ফলে বিভিন্ন স্থানে হিমবাহের অবক্ষেপ দেখা যায়। হিমবাহ থেকে সরাসরি যে অবক্ষেপ হয় তা হোল (ক) সম্পূর্ণভাবে ক্লাস্টিক্ (খ) বাছাই বিহীণ (unsorted) এবং (গ) অন্তরীভূত—তাকে টিল্ (till) বলে। হিমবাহ অঞ্চলে বরফ গলিত জল প্রবাহ হয়ে Out wash deposit তৈরী করে; তার মধ্যে gravel, বালি ও সিল্ট্ থাকে। Till হিমবাহ এলাকার মোরেইন্ (moraine) এর মধ্যে থাকতে পারে। Out wash (moraine) এর বিশেষ রূপগুলি হোল: কেম্‌স্ (kames), এস্‌কারস্ (eskers) এবং Valley trains। হিমবাহের হ্রদগুলিতে ভার্ভ (Varve) জাতীয় সূক্ষ্ম কণার স্তর দেখা যায়।

খ সামুদ্রিক পরিবেশ (Marine Environments)

সমুদ্র পৃথিবীর উপরিভাগের শতকরা 70 ভাগ অঞ্চল জুড়ে আছে। সেজন্য সমুদ্রে পলির অবক্ষেপণ বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। তবে সমুদ্রে পলি অবক্ষেপণের বেশীর ভাগ ঘটনা লোক চক্ষুর অন্তরালে ঘটে। এজন্য সামুদ্রিক পরিবেশ সম্বন্ধে গবেষণা করার জন্য বিশেষ ভাবে



চিত্র—71

সামুদ্রিক পরিবেশের বিভিন্ন অঞ্চল।

তৈরী সমুদ্রগামী জাহাজের প্রয়োজন হয়। সামুদ্রিক পরিবেশের বিভিন্ন অঞ্চলের শ্রেণী বিভাগ ছবিতে দেখান হয়েছে (চিত্র 71)।

(1) **অগভীর সমুদ্র বা নেরিটিক অঞ্চল** (Neritic Zone) : ভাঁটার সবচেয়ে নীচু জল তল থেকে আরম্ভ করে মহীসোপানের (continental shelf) ধার পর্যন্ত, অর্থাৎ মহীঢালের যেখানে আরম্ভ, এই বিস্তৃত সামুদ্রিক অঞ্চলকে নেরিটিক অঞ্চল বলা হয়। এই অঞ্চলের গভীরতা 600 ফিট পর্যন্ত হতে পারে। মহীসোপানের উপর নদীগুলি এসে পড়ে ও বড় দানার ক্লাস্টিক পলি অবক্ষেপণ করে ও তা নেরিটিক পরিবেশের বিভিন্ন অংশে ছড়িয়ে পড়ে। এই অঞ্চলের ঢাল অত্যন্ত কম। এজন্য পলি বহুকাল ধরে স্রোত ও ঢেউ-এর প্রভাবে থাকে তার ফলে দানাগুলি ভালভাবে বাছাই হয় (well sorted); তীরের দিকে বড়দানা ও গভীর অঞ্চলের দিকে ছোট দানার পলি (কাদা ও সিল্ট্) থাকে। এই অঞ্চলে পলির মধ্যে বালিপাথর, শেল (Shale) ও চুনাপাথর প্রধান। নেরিটিক অঞ্চলের গভীর অঞ্চলে চুনাপাথর বিভিন্নরূপে থাকে, কোথাও কাদাযুক্ত আবার কোথাও জীবাশ্মযুক্ত হতে পারে। এই অঞ্চলে খুব প্রাণীর সমাবেশ হয় ও উদ্ভিদ ভালভাবে জন্মাতে পারে, কারণ সূর্যকিরণ সমুদ্রের মধ্যে প্রবেশ করতে পারে। নেরিটিক পরিবেশ পলি অবক্ষেপণের দিক থেকে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ

Twenhofel হিসাব করে দেখিয়েছেন যে ভূপৃষ্ঠে স্তরীভূত পাথরের মধ্যে শতকরা 80 ভাগ এই পরিবেশের অবক্ষেপ।

প্রবালের রীফ্ (reef) ক্যালকেরিয়াস্ পলির একটি বড় উৎস। রীফ্ পরিবেশ, অগভীর ক্যালকেরিয়াস্ পরিবেশ থেকে তফাৎ হতে পারে। রীফ্ ক্যালকেরিয়াস্ ও কাদাযুক্ত তল থেকে গড়ে উঠতে পারে আবার নেরিটিক অঞ্চলের বাহিরে গভীর সমুদ্রে কোন আগ্নেয় পাহাড় বা অন্য উঁচু স্থানের চারদিকে গড়ে উঠতে পারে। বর্তমানে রীফ্ পরিষ্কার জলের অঞ্চলে 250 ফিট্ গভীরতা পর্যন্ত দেখা যায়।

নেরিটিক্ অঞ্চলের কোন কোন ঘেরা এলাকায় সবাত (aerobic) অবস্থা বা বেশী বাষ্পীভবন হতে পারে (evaporitic) এরকম অবস্থা থাকতে পারে। এরকম সম্ভবনা বেশী থাকে যদি স্থল অঞ্চলের মধ্যে অগভীর সামুদ্রিক এলাকা চারদিকে ঘেরা থাকে (land locked basins)। বিশেষ করে শুষ্ক (arid) অঞ্চলে এরকম হলে লবণ, জিপ্সাম্ এনহাইড্রাইট্ ইত্যাদির অবক্ষেপণ হয়।

অবাত (anaerobic) অবস্থা ঘেরা এলাকার আর একটি বিশেষত্ব। কোন কোন ঘেরা এলাকাতে সমুদ্রে জৈব পদার্থ বেশী পরিমাণে বিযোজন হলে সমুদ্রের জলে দ্রবীভূত অক্সিজেন হ্রাস পায়। এ অবস্থায় যে অবক্ষেপণ হয় তার কালো রং হয় এবং তার সূক্ষ্ম দানার পলি ধীরে ধীরে জমে। ঘেরা এলাকায় বড় দানার ক্লাস্টিক্ আসতে পারে না। কোন কোন বড় এলাকা চারদিকে ঘিরে থাকার ফলে পলি সঞ্চয় হতে পারে না—তাকে Starved basin বলে।

দেখা যায় যে নেরিটিক এলাকার বিশেষ কোনও একটি রূপ নেই। এক এক অঞ্চলে স্থানীয় পরিবেশের উপর নির্ভর করে নেরিটিক এলাকার পলির বিশেষত্ব গড়ে উঠে। এজন্য নেরিটিক অঞ্চলকে zone of variables বলা হয়।

(2) **গভীর সমুদ্র পরিবেশ** (Bathyal environment) : সমুদ্রের গভীরতা যেখানে 600 থেকে 6000 ফিটের মধ্যে সেই অঞ্চলকে ব্যাথিয়াল পরিবেশ বলে। সূক্ষ্ম ক্লাস্টিক বালি, সিল্ট্, কাদা, ক্যালকেরিয়াস্ ও সিলিসিয়াস্ (সিলিকা-সমৃদ্ধ) পলি ব্যাথিয়াল এলাকার বৈশিষ্ট্য।

(3) **অতল সমুদ্র পরিবেশ** (Abyssal environment) : যে অঞ্চলে সমুদ্র 6000 ফিটের বেশী গভীর সেই অঞ্চল এ্যাবিসাল পরিবেশের অন্তর্গত। এখানকার সমুদ্রে সূর্যালোক পৌঁছায় না, চাপ প্রতি বর্গ ইঞ্চে 2500 পাউণ্ডের বেশী এবং তাপাঙ্ক 5° সেঃ এর কম থাকে। এই পরিবেশে পলিতে দ্রবীভূত লবণ এবং অতি সূক্ষ্ম কর্করীয় পদার্থ থাকে যারা খুব ধীরে সঞ্চিত হয় এবং তাদের সঙ্গে

ভাসমান ক্যালকেরিয়াস্ ও সিলিসিয়াস্ প্রাণীদেহের অবশিষ্টাংশ জমে বিভিন্ন প্রকার উজ (ooze) পলি অবক্ষেপণ করে। 1600 ফিটের বেশী গভীর সমুদ্র অঞ্চলে লাল কাদা (Red clay) পলি খুব বৈশিষ্ট্য-পূর্ণ। স্থলভাগে ঘেরা কতকগুলি অঞ্চলে ব্যাথিয়াল ও এ্যাবিসাল পরিবেশ দেখা যায়, যেমন ব্ল্যাকসী, ভূমধ্য সাগর, লোহিত সাগর, ক্যালিফোর্ণিয়ার পার্শ্ববর্তী সমুদ্রের কিছু অঞ্চল ও পূর্ব-ভারতীয় দ্বীপপুঞ্জের কোনও কোনও অঞ্চলে। এই প্রত্যেকটি অঞ্চলেই আবাত অবস্থা দেখা যায়।

গ স্থলীয় ও সামুদ্রিক পরিবেশের মিশ্রণযুক্ত এলাকা :—যে অঞ্চলে স্থল ও সাগর মিলেছে সেখানে বহু ভৌগোলিক জটিলতা দেখা যায়। তীর বা লিটোরাল্ জোন (littoral zone) হল ভাঁটা ও জোয়ারের (low and high tides) মধ্যবর্তী স্থানের নাম; এই অঞ্চল কখনও বা স্থল কখনও বা সাগর।

এখানকার অবক্ষেপণের বিশিষ্ট পরিবেশগুলি নিম্নলিখিত রূপ—

(1) ঢেউ-এর প্রাধান্যযুক্ত পরিবেশ, যেমন বন্ধুরতাযুক্ত তীর ও সৈকতভূমি (beach),

(2) জোয়ার-ভাঁটার প্রাধান্যযুক্ত পরিবেশ, জোয়ার-ভাঁটার সমভূমি (tidal flats) লেগুন ও মোহনা (estuary),

(3) সামুদ্রিক ব-দ্বীপ পরিবেশ,

(4) জৈব রীফ্ পরিবেশ।

(1) **ঢেউ-এর প্রাধান্যযুক্ত পরিবেশ** :—এই পরিবেশে দুরকম বিশেষত্ব দেখা যেতে পারে। যেখানে সমুদ্রতীর পাহাড়ের ধারেই (cliffed shore) আছে সেখানে অবক্ষেপণের বেশী স্থান থাকে না। সেখানে পাহাড় থেকে ক্ষয় হয়ে আসা পদার্থ এক এক জায়গায় জমা হয়ে স্বল্প স্থানে বোল্ডারযুক্ত সরু সৈকত (beach) বা talus তৈরী করতে পারে। পাহাড়ের তলায় বালি ও নুড়ির বাছাই, গোলাকার আকৃতি বা রাউন্ডিং ও খনিজ উপাদান খুব অসম (heterogenous) হতে পারে। তবে পাহাড় থেকে কিছু দূরে ঢেউ-এর ফলে দানার বাছাই এবং রাউন্ডিং (rounding) আরও ভাল হতে পারে, বিশেষ করে লংসোর স্রোতের দরুণ কিছু দূরের সৈকতে এই রকম দেখা যায়। নীচু খোলা সৈকত (Low open shore-beach) পরিবেশে সমুদ্রের জোয়ার এবং ভাঁটার তলদ্বয়ের মধ্যবর্তী অঞ্চলে একটি ঢালু ফোরসোর (fore shore) থাকে, তার পিছনে ব্যাক্‌সোর (back shore) ও তারও পিছনে (স্থলের মধ্যের দিকে) বালিয়াড়ী থাকে। এই রকম

সৈকতে প্রায় সবই বালি, কারণ সূক্ষ্ম কণাগুলি ঢেউ-এর সঙ্গে গভীর জলে বা আংশিক ভাবে ঢাকা উপসাগর বা লেগুনে (Lagoon) গিয়ে পড়ে। পরিমাপ অনুসারে দানার বাছাই খুব ভাল হয় ও দানার পদার্থ গুঁড়া হয়ে যায়; কোয়ার্টজ বা ক্ষয়রোধকারী (resistant) খনিজগুলি সৈকতে বেশী সঞ্চয় হয়। ভারী ক্ষয় রোধকারী খনিজ যেমন ইলমেনাইট্, ম্যাগনেটাইট্ জারকন, গার্নেট্ এরা কোয়ার্টজ থেকে তফাৎ হয়ে অন্যত্র স্তর সৃষ্টি করে। বড়দানার বালি বেশ গোলাকার হতে পারে, তবে ঝিনুক বা শামুকের খোলাগুলি (shells) টুকরা হতে থাকতে পারে।

ফোরসোর বেশ ভাল ভাবে cross stratified হতে পারে। ব্যাক্ সোর অবক্ষেপ অনেক অনিয়মিত হয়; এখানে cut and fill জাতীয় ক্রশ-বেডিং (cross-bedding) বেশী দেখা যায় ও মাঝে মাঝে লেন্সের মত সিল্ট্ ও কাদা জমতে পারে। ব্যাক সোরের স্থলের দিকের অংশ ঢেউ-এর প্রভাবের বাহিরে অবস্থিত এজন্য বায়ুর প্রভাবে পিছন দিকে বালিয়াড়ী তৈরী হতে পারে। এই বালি খুব ভাল ভাবে পরিমাপ অনুসারে বাছাই ও গোলাকার। এই রকম অবস্থানে কীলক আকার ক্রশ-বেডিং (wedge shaped cross-bedding) দেখা যায়।

(2) **জোয়ার ভাঁটার প্রাধান্যযুক্ত পরিবেশ ঃ**

(ক) জোয়ার ভাঁটার সমভূমি (Tidal flats) পরিবেশঃ—অনেক সমুদ্র উপকূলে বিশাল টাইডাল ফ্ল্যাট্ অবস্থিত। এইখানে খুব সিল্ট্ ও কাদা নদীবাহিত হয়ে আসে, জোয়ার-ভাঁটা অনেক দূর পর্যন্ত বাছাইয়ের কাজ করে কিন্তু সজোরে আসে না। এই রকম পরিবেশে সূক্ষ্ম দানার পলি অতি সহজে জমতে পারে, এগুলিতে দানার ভাল বাছাই হয় না এবং সূক্ষ্ম স্তরে সহজে lamination সৃষ্টি হয়। ল্যামিনিগুলি লেন্সের মত সিল্ট্যুক্ত কাদা ও সিল্ট্যুক্ত বালি দিয়ে সৃষ্ট হয়। এই রকম সমভূমির উপরের অংশে অবক্ষেপণ ধীর গতিতে হয়, এজন্য বন্যার জলের আসা যাওয়ার ফলে সূক্ষ্ম পলি অপসারিত হতে পারে এবং বড় দানার সিল্ট্ বা ছোট দানার বালি পড়ে থাকতে পারে। এই সমভূমিতে বেশ ভাল ল্যামিনেটেড্ পলি জন্মায় কিন্তু মাটিতে ছিদ্র সৃষ্টিকারী প্রাণীরা এই সূক্ষ্ম স্তরায়ন নষ্ট করে দিয়ে থাকে।

(খ) তীরের লেগুন পরিবেশ (shore lagoon environment) :— যখন সৈকত তীরের ধারে তৈরী হয় ও ভিতর দিকে উঁচু এলাকাকে ঘিরে ফেলে (barrier beach) তখন উপকূলের ধারে লেগুন তৈরী হয়। জোর জোয়ার-ভাঁটা হলে লেগুনের মধ্যে সমুদ্রের জল প্রতিদিন

যাতায়াত করে। লেগুনের মধ্যে বড় ঢেউ থাকে না। তাই জল থেকে সূক্ষ্ম প্রলম্বিত (suspended) পলির অবক্ষেপণ হয়। সৈকতে বড় দানা বালি অবক্ষেপণ করার সঙ্গে সঙ্গে ঢেউ সূক্ষ্ম দানাগুলিকে লেগুনে বহন করে এনে অবক্ষেপণ করে। এজন্য লেগুন পরিবেশে সূক্ষ্মদানার পলি ও বড় দানার বালিযুক্ত সৈকত বা বালিয়াড়ী পরস্পরের মধ্যে ঘনিষ্ঠভাবে সংলগ্ন (interfingering) অথবা পাশাপাশি বাঁধ সৃষ্টি করে।

(গ) মোহনা পরিবেশ (Estuary environment) :— সাগরের কাছে নদীমুখে, যেখানে নদী চওড়া হয়ে ফানেলের আকার (funnel shape) ধারণ করে ও যেখানে প্রতিদিন জোয়ার-ভাঁটা খেলে—এই অঞ্চলকে মোহনা (estuary) বলে। এজন্য জোয়ার-ভাঁটা নদীর মোহনার কাছে পলি অবক্ষেপণকে বেশী প্রভাবিত করে। নদীবাহিত পলি বারে বারে যাতায়াত করে। নদীতে সিল্ট্ ও বালির চর (bar) তৈরী বা দ্বীপ সৃষ্টি হয়ে পাশ দিয়ে জল প্রবাহিত হয়। এই পরিবেশে নদী-বাহিত সিল্ট্ ও ছোটদানার বালি অবক্ষেপণ হয়, আর বড় দানার পলি নদী খাতে জমা হয় ও ছোটদানার পলির চর তৈরী করে। তবে চিরস্থায়ী অবক্ষেপণ মোহনায় সাধারণতঃ গড়ে ওঠে না।

(3) **সামুদ্রিক ব-দ্বীপ পরিবেশ** (Marine delta environment) :

"Deltas are a major site of deposition of terrigeneous sediments of the present time and it is to be expected that they were similarly important in the past". (H. Blatt, G. Middleton and R. Murray, 1972.)

বড় নদী যেখানে সমুদ্রে পড়ে সেখানে বিশাল ব-দ্বীপ তৈরী হয়। উপকূলের অগভীর লেগুন, নোনা জলের জলভূমি (swamp) অঞ্চল এবং স্থল অঞ্চলের সংমিশ্রণে এই ব-দ্বীপের পরিবেশ তৈরী হয়। এখানে সামুদ্রিক ও অসামুদ্রিক অবক্ষেপ পাশাপাশি থাকে। সামুদ্রিক এবং অসামুদ্রিক পলির স্তরগুলি এক হাতের আঙ্গুলগুলি অন্য হাতের আঙ্গুলের ফাঁকে ফাঁকে ঢুকে থাকার মত সংলগ্ন থাকে।

বড় নদীগুলি সমুদ্রে মিলিত হওয়ার আগে অনেক শাখা প্রশাখায় বিভক্ত হয় ও এই অঞ্চল পলি অবক্ষেপণের ফলে আঙ্গুলের মত আকারে ছড়ান ব-দ্বীপ তৈরী করে। ঢেউ ও স্রোত এগুলিকে ভেঙ্গে দেবার চেষ্টা করে ও তার ফলে সূক্ষ্মদানার পলি সমুদ্রগর্ভে অপসারিত হয় এবং বড়দানার পলি জমা হয়ে চর (bar) ও স্পিট্ (spit) সৃষ্টি করে উপকূলকে সরলরেখায় রূপান্তরিত করতে পারে।

সামুদ্রিক ব-দ্বীপের পলির গঠনে টপ্‌সেট্ এলাকা জলতলের

উপর থেকে কিছু নীচু পর্যন্ত বিস্তৃত হয়, ফোরসেট বেশ ঢালু হয় ও সূক্ষ্ম পলিতে গড়ে ওঠে। ফোরসেট ক্রমে ঢালু হয়ে সমুদ্রের ব্যাথিয়াল জোন পর্যন্ত বিস্তৃত হতে পারে। ইজিপ্টের নাইল (Nile) নদীর ব-দ্বীপ এই রকম একটি আদর্শ ব-দ্বীপ।

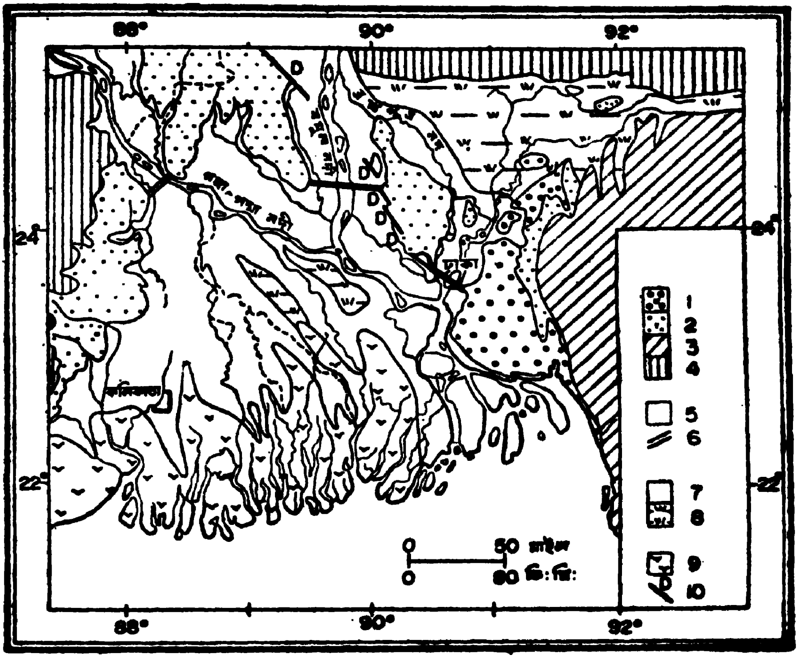
আমেরিকার মিসিসিপি নদীর ব-দ্বীপ Gulf of Mexico-তে গড়ে উঠেছে। এখানে ভাল গবেষণা হওয়ায় আমরা ব-দ্বীপের গঠন সম্পর্কে অনেক তথ্য জানতে পারি।

অতীতে এই নদীর গতিপথ বেশ কয়েকবার পরিবর্তিত হওয়ায় মিসিসিপি ব-দ্বীপ খুব বিশাল। এই ব-দ্বীপের বর্তমান অংশ আকারে পাখীর পায়ের মত আকারের হওয়ায় একে Bird foot sub-delta বলা হয়। মনে করা হয় যে বেশ গভীর জলের সমুদ্রের উপর অবক্ষেপণের ফলে এই আকারের উৎপত্তি।

মিসিসিপি নদী প্রতি বৎসর 50 কোটি টন পলি (40 কোটি টন suspendend load এবং 10 কোটি টন bed load) বহন করে সাগরে নিয়ে যায়; প্রলম্বিত ভাবে সাসপেন্ডেড লোডে কাদা শতকরা 55 ভাগ, সিল্ট 38 ভাগ ও বালি 7 ভাগ আছে। এই পলি, আংশিকভাবে (1) ব-দ্বীপের স্থলভাগের অংশে অবক্ষেপণ হয়। নদীখাত "লেভী" ও খাতের তীরের নীচু জলাভূমি অঞ্চল, নদীর পাশাপাশি দুই শাখার মধ্যবর্তী বেসিন, হ্রদ এবং জলাভূমি অঞ্চল-এর মধ্যে আছে; (2) নদী শাখাগুলির সাগর সঙ্গমে সবচেয়ে বেশী অবক্ষেপণ হয়, তাই ব-দ্বীপের মুখে সবচেয়ে বেশী পলি জমে; এই অবক্ষেপ আকারে পাহাড় থেকে নামা alluvial fan-এর সঙ্গে তুলনা করা যায়। সাগর-সঙ্গমে নদী গতিবেগ হারিয়ে অধিকাংশ বালি ও সিল্টের অবক্ষেপণ করে চর সৃষ্টি করে। শাখানদীর মুখে চর-এর বড় দানা পলি এবং ক্রমিকভাবে সমুদ্রের দিকে ছোট দানা পলি অবক্ষেপিত হয়। শাখা-নদীগুলির মধ্যবর্তী সিল্ট ও কাদার স্তরের সঙ্গে নদীমুখের বালি ও সিল্টের তৈরী চরগুলি আঙুলের মত ছড়িয়ে থাকে। ব-দ্বীপ অঞ্চল ক্রমে বসে যায় তার ফলে খুব বেশী পরিমাণে পলি জমে বিশাল অবক্ষেপণের সৃষ্টি করে।

গঙ্গা ও ব্রহ্মপুত্রের মিলিত ব-দ্বীপে পলি অবক্ষেপণের বিভিন্ন পরিবেশ:—

ভারতের পশ্চিমবঙ্গ ও বাঙলাদেশের 80,000 বর্গ কিলোমিটার এলাকা জুড়ে গঙ্গা ও ব্রহ্মপুত্র মিলিতভাবে বিশাল ব-দ্বীপ সৃষ্টি করেছে। এটি বঙ্গোপসাগরের উপর গঠিত এবং পৃথিবীর অন্যতম গুরুত্বপূর্ণ ব-দ্বীপ।



চিত্র—72

BENGAL DELTA

গঙ্গা-ব্রহ্মপুত্র মিলিত ব-দ্বীপের পলি অবক্ষেপণের বিভিন্ন পরিবেশ। ফিজিক্যাল পরিবেশগুলি নিম্নলিখিত রূপ (মানচিত্রের ব্যাখ্যা Legend)

(ক) হাইল্যাণ্ড (**Highland**)

1. পূর্বতন উপরিভাগ (**Recent ?**)
2. **Pleistocene Terrace**
3. **Tertiary** ও প্রাচীনতর পাহাড়িক অঞ্চল
4. **Bed rock**—(রাজমহল ব্যাসল্ট অঞ্চল মানচিত্রে পশ্চিম ধারের উপর দিকে অবস্থিত এবং এই পরিবেশের অংশ)।

(খ) এলুভিয়াল ভ্যালী (**Alluvial valley**)

5. ব্রেডেড নদীর বন্যা-প্লাবিত অঞ্চল
6. এলুভিয়াল ভ্যালী ও ব-দ্বীপ সমভূমির সীমানা

(গ) ব-দ্বীপ সমভূমি (**Deltaic plain**)

7. শাখানদীর লেভী (**levee**) অঞ্চল
8. শাখানদীর মধ্যবর্তী ও ব-দ্বীপের পার্শ্ববর্তী জলা অঞ্চল

(ঘ) জোয়ার-ভাঁটার সমভূমি (**Tidal flat**)

9. জোয়ার-ভাঁটার অবক্ষেপ মানগ্রোভ গাছযুক্ত জলা অঞ্চল
10. D—চ্যুতির নীচে নামা দিক নির্দেশ করে।

(**J. P. Morgan, 1970** অনুসারে)।

গঙ্গা নদী, ব্রহ্মপুত্র নদ ও ব্রহ্মপুত্র নদের একটি পরিত্যক্ত খাত—এই তিনটি প্রধান পলিপূর্ণ নদীখাত এই ব-দ্বীপে এসে পড়েছে (চিত্র—72)। এ ব-দ্বীপের ধারে আছে প্লাইস্টোসিন (Pleistocene) যুগের টেরাস (Terrace), যার মধ্যে দিয়ে নদীখাতগুলি গভীরভাবে কেটে গেছে। এই ব-দ্বীপের পশ্চিম ধারে, ও উত্তরদিকে আছে যথাক্রমে পশ্চিমবঙ্গের ও আসামের আরও প্রাচীনযুগের বেড রক, যেমন, গন্ডোয়ানা যুগের পাথর, রাজমহলের ব্যাসল্ট (যা বিহারের মধ্যে আরও বিস্তৃত) এবং প্রিক্যাম্ব্রিয়ান যুগের পাথর।

গঙ্গা-ব্রহ্মপুত্র ব-দ্বীপের সৃষ্টিতে ভূ-আলোড়নের (Tectonics) একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা আছে। কোয়াটারনারি (Quaternary) যুগে এক এক সময় অনেকগুলি নরম্যাল ফল্ট সৃষ্টি হয়েছিল ও এই ব-দ্বীপকে আলোড়িত করে স্তরচ্যুতি ঘটিয়েছিল। ঢাকা শহরের উত্তরে প্লাইস্টোসিন যুগের পাথরের যে অঞ্চল আছে, যার উপর মধুপুর জঙ্গল' এলাকা রয়েছে, তার পশ্চিম ধার দিয়ে 6টি চ্যুতি ধাপে ধাপে (en echelon) বিন্যস্ত আছে (চিত্র 72)। গঙ্গা ও ব্রহ্মপুত্রের নদী-খাতের এলুভিয়াল ভ্যালির সঙ্গে ব-দ্বীপ অঞ্চলের সীমানা চিত্রে দেখান হয়েছে। ব-দ্বীপ অঞ্চল একটি জটিলসমভূমি: এর মধ্যে আছে অসংখ্য শাখা নদীনালার খাত ও তাদের পরিত্যক্ত খাত। এই রকম একটি নদী, হুগলী বা ভাগীরথীর তীরে কলকাতা শহর অবস্থিত।

ব-দ্বীপের মধ্যে এসে পড়ার আগের অংশে নদীগুলির খাত বালিতে প্রায় বুজে আছে ও নদীর জলধারা খাতের মধ্যেই শাখা-প্রশাখা (অর্থাৎ braided stream) তৈরী করেছে। ব-দ্বীপের মধ্যে শাখানদীগুলি মিসিসিপি নদীর পাখীর পায়ের মত সুবিন্যস্ত শাখাগুলির মত না হয়ে জালের মত বেশ জটিলভাবে পরস্পরের সঙ্গে সংলগ্ন আছে। শাখানদীগুলির মধ্যবর্তী অঞ্চল ও নদীখাতের ধারের লেভীগুলিও মিসিসিপির মত সুগঠিত নয়। পরিত্যক্ত নদীখাতগুলির মধ্যবর্তী নীচু অঞ্চলে বিস্তৃত জলাভূমি আছে।

গঙ্গার উত্তরদিকের অংশের নদীখাতের পলি বড়দানাযুক্ত ও দক্ষিণ অঞ্চলে জোয়ার-ভাঁটা শক্তিশালী হওয়াতে সূক্ষ্ম দানা পলি অবক্ষেপিত হয়েছে। জোয়ার-ভাঁটা দ্বারা প্লাবিত অঞ্চলের (Tidal plain) অবক্ষেপিত পলি, ব-দ্বীপ অঞ্চলের সমভূমির (Deltaic plain) উপর অবস্থান (overlap) করছে (চিত্র—72)। নদীখাতের ধারের উচু লেভীর স্তরের সঙ্গে জোয়ার-ভাঁটা দ্বারা অবক্ষেপিত পলিস্তর

এক হাতের আঙ্গুলের ফাঁকে ফাঁকে অন্য হাতের আঙ্গুল পর পর ঢুকে থাকার মত ঘনিষ্টভাবে সংলগ্ন রয়েছে।

ব-দ্বীপ অঞ্চল ভূ-আলোড়নের ফলে মাঝে মাঝে বসে যায় এবং জোয়ার-ভাটার স্রোতের দ্বারা অবক্ষেপিত পলি সেই সঙ্গে আরও পুরু হয়ে উচ্চ হতে থাকে। সমুদ্রের সম্মুখবর্তী ব-দ্বীপের সমভূমি অঞ্চল থেকে সূক্ষ্ম দানা পলি অপসারিত হয়ে বানের জলের সঙ্গে বহুদূর পর্যন্ত পরিবাহিত হয় ও শাখানদীর খাতে অবক্ষেপিত হয়। এই অঞ্চলে ম্যানগ্রোভ জাতীয় গাছের শিকড় ও ডালপালা অবক্ষেপিত হওয়ার পর পলিকে ক্ষয় থেকে রক্ষা করে। টাইডাল প্লেন অঞ্চলের পলি সাধারণতঃ কাদা ও সিল্ট জাতীয় এবং তার মধ্যে ম্যানগ্রোভ জঙ্গল থেকে প্রচুর জৈব পদার্থ এসে সঞ্চিত হয়। ব-দ্বীপ অঞ্চল প্রধানতঃ কাদা ও জৈব পদার্থ দ্বারা গঠিত হলেও এর মধ্যে কিছু বালির স্তরও দেখা যায়।

(4) জৈব রীফ পরিবেশ (Organic reef environment)

সাধারণতঃ সমুদ্রতীরের অজৈব পরিবেশের সঙ্গে খাপ খাইয়ে প্রাণীরা জীবনধারণ করে। গ্রীষ্মমণ্ডলে প্রবাল জাতীয় প্রাণীরা সমুদ্রের মধ্যে নিজেরাই দ্বীপ ও তীরভূমি তৈরী কোরে নিজেদের জীবন-ধারণের মত পরিবেশ সৃষ্টি করে। এগুলিকে প্রবাল রীফ (কোরাল রীফ) বলা হয়, আরও সঠিকভাবে বলতে হলে অরগ্যানিক রীফ বলা হয়, কারণ প্রবাল ছাড়া অন্যান্য প্রাণীরাও এই পরিবেশে থাকে।

এই অরগ্যানিক রীফ $CaCO_3$ দিয়ে তৈরী একটি কঠিন অবয়ব হিসাবে তৈরী হয় এবং প্রায় মহাসাগরের উপরতল পর্যন্ত বিস্তৃত হয়। সমুদ্রের ঢেউ-এর আঘাতের ফলে এই জীবদেহ দিয়ে তৈরী রীফ ভেঙ্গে টুকরা ও গুড়া বালির দানায় পরিণত হয়, এবং আরও নতুন রীফ জন্মায়। ঢেউ-এর কার্যকারিতায় জল অক্সিজেন ও খাদ্য-কণা বহন করে আনে যাহাতে রীফ আরও শীঘ্র বৃদ্ধি পায়। এই দুই কাজ অর্থাৎ রীফের বৃদ্ধি ও ক্ষয়ীভবন একই সঙ্গে চলে, যার ফলে নতুন রীফ আংশিকভাবে ভেঙ্গে যাওয়া পদার্থ দিয়ে ঘিরে থাকে এবং সর্বসমেত একটি রীফ কমপ্লেক্স (Reef complex) সৃষ্টি করে।

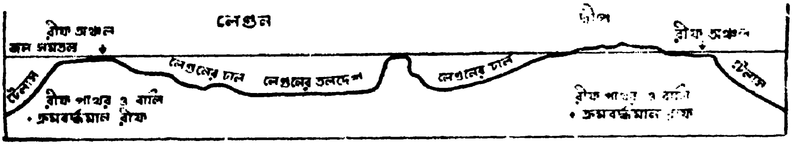
রীফের আকার অনুসারে তিন শ্রেণীতে ভাগ করা যায়।

(1) Fringing reef—এই রীফ তীর রেখা বরাবর থাকে ;

(2) Barrier reef—ইহা তীরের সঙ্গে সমান্তরাল ভাবে অবস্থিত। কিন্তু তীর থেকে কিছুদূরে সৃষ্টি হয় এবং তার মধ্যস্থলে একটি লেগুন থাকে যার গভীরতা মাত্র কয়েক দশক ফ্যাদম।

(3) মধ্যস্থলে লেগুন বিশিষ্ট রীফ যা দেখতে গোলাকার হয় তাকে atoll বলে। যদি মধ্যস্থলে লেগুন না থাকে এবং atoll-এর মত বড় না হয় তবে table, patch ও platform রীফ বলা হয়।

প্রথমে এটলের গঠন আলোচনা করা যাক। বিকিনী এটল প্রশান্ত মহাসাগরের একটি রীফ এবং এর আকৃতি নিম্নের ছবিতে (চিত্র 73) দেখান হয়েছে। রীফের সমুদ্রের দিকের ধার সবচেয়ে তাড়াতাড়ি বাড়ে অর্থাৎ সবচেয়ে বৃদ্ধি হয় যেদিক দিয়ে বায়ু আসে (wind ward দিক)। রীফের সামনে ভগ্নস্তূপ ভেঙ্গে ভেঙ্গে গড়িয়ে গভীর জলে নিমজ্জিত হয়ে সমুদ্রে রাব্ল এবং বালির টেলাস (Talus) সৃষ্টি করে। কিছু



চিত্র—73
প্রবাল রীফ পরিবেশের বিভিন্ন অংশ। একটি এটলের প্রস্থচ্ছেদ।

ভগ্ন অংশ আবার ঢেউ-এর সঙ্গে রীফের উপর ধারের দিকে উৎক্ষিপ্ত হয়ে পড়ে। দেখা গেছে যে, তাড়াতাড়ি যে রীফের বৃদ্ধি হচ্ছে তার ক্ষয় তেমন গুরুত্বপূর্ণ হয় না, ক্ষয় জোরালো হলে রীফের ধ্বংস ঘটে।

প্রকৃত রীফের পাথর মাত্র 10 অংশ তৈরী করে তার সঙ্গে সমুদ্রের দিকে টেলাস থাকে এবং লাইম স্যান্ড ও লাইম-রাবল প্রবালের সঙ্গে মিশে হয় প্রধান রীফের অংশ অর্থাৎ দ্বীপ। লাইম-স্যান্ড ও লাইম-সিল্ট ও প্রবালের তৈরী ছোট মাথার মত গোল অংশগুলি লেগুনের মধ্যে থাকে। প্রশান্ত মহাসাগরে প্রবাল দ্বীপের কয়েকটিতে ড্রিল করার ফলে দেখা গেছে যে 16,000 ফিট নীচু সমুদ্রতল থেকে প্রবাল-দ্বীপ 12,000 ফিট্ পর্যন্ত আসলে ব্যাসল্ট পাথরে তৈরী কিন্তু উপরের 4000 ফিট্ মাত্র এটল হিসাবে প্রবালের তৈরী।

ব্যারিয়ার রীফ (Barrier Reef)

সমুদ্রের উপকূলে ব্যারিয়ার রীফ তৈরী হতে পারে ও এই রীফে এটলের মত বৈশিষ্ট্য থাকে। সমুদ্রের মধ্যে টেলাস, জীবন্ত ও ক্রমবর্ধমান রীফ, রীফের সমতল অঞ্চল, লেগুন ও তার মধ্যবর্তী

প্রবাল স্তম্ভ ইত্যাদি বৈশিষ্ট্যগুলি ব্যারিয়ার রীফে লক্ষ্য করা যায়। নিকটবর্তী স্থল অঞ্চল থেকে নদী বাহিত কর্করীয় পলি লেগুনে অবক্ষেপিত হতে পারে এবং এজন্য প্রবাল দলগুলি বিপন্ন হয়ে পড়ে। এই কর্করীয় পলি রীফ কমপ্লেক্সের চুনজাতীয় অবক্ষেপণের সঙ্গে পর পর সংলগ্নভাবে স্তরীভূত হতে পারে।

অস্ট্রেলিয়ার কুইন্সল্যান্ডের উপকূল থেকে 20—150 মাইল দূরে ও 1000 মাইল বিস্তৃত গ্রেট ব্যারিয়ার রীফ (Great Barrier Reef) অবস্থিত। পারমিয়ান যুগে আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রের নিউমেক্সিকোতে Capitan Reef আর একটি উদাহরণ। ভারতবর্ষের আন্দামান ও নিকোবর দ্বীপপুঞ্জে ও লাক্ষা দ্বীপপুঞ্জে এবং দক্ষিণ ভারতের মান্নার উপসাগরের উপকূল অঞ্চলে প্রবাল দ্বীপ এবং জৈব রীফ অবক্ষেপণ এখন ক্রমবর্ধমান আছে।

দশম অধ্যায়

পাললিক পাথরের শ্রেণী বিভাগ এবং বিবরণ

পাললিক পাথরের শ্রেণী বিভাগ নানা উপায়ে করা যায়। প্রধানতঃ রাসায়নিক উপাদনের উপর নির্ভরশীল শ্রেণী বিভাগ করা হয়। শ্রেণী বিভাগ করার সময় উৎপত্তি অনুসারে বিভিন্ন শ্রেণী তৈরী করা ঠিক নয়। কারণ প্রায় সব পাললিক পাথরের উৎপত্তি বেশ জটিল পদ্ধতির মধ্যে দিয়ে ঘটে।

সংযুতি অনুসারে পাললিক পাথরকে (1) সিলিকা ও সিলিকেট, (2) কার্বনেট, (3) দ্রবণীয় লবণ (যেমন সালফেট্ ও ক্লোরাইড্), (4) ফসফেট্, (5) কার্বনেসিয়াস্ পদার্থ ইত্যাদি শ্রেণীতে বিভক্ত করা যায়।

প্রথম শ্রেণীর পাথরগুলি যাবতীয় পাললিক পাথরের শতকরা 67 থেকে 75 ভাগ তৈরী করে। এদের আবার দুইভাগে করা যায়, যেমন যে সব পাথর আরও পুরাণ পাথরের টুকরা বা গুঁড়া দিয়ে তৈরী বা ক্লাস্টিক্ আর যারা সেরকম নয় বা নন্ ক্লাস্টিক্ (যেমন চার্ট্ বা তার মত অন্য পাথর)। টুকরা বা গুঁড়া দিয়ে তৈরী পাথরগুলিকে তাদের দানা বা টুকরার সাইজ অনুসারে ভাগ করা হয়। প্রধানতঃ তিনটি শ্রেণী করা হয়ঃ—মোটা দানাযুক্ত, মাঝারি দানাযুক্ত ও সূক্ষ্ম দানাযুক্ত। সম্পূর্ণ শ্রেণী বিভাগ নীচে দেওয়া হলঃ—

পাললিক পাথরের মোটামুটি শ্রেণী বিভাগ

শ্রেণী	প্রধান পাথর
(1) খণ্ড ও চূর্ণ পদার্থে তৈরী (ক্লাস্টিক) পাথরগুলিঃ— সিলিকা ও সিলিকেট প্রধান উপাদান, মোটাদানাযুক্ত, মাঝারি-দানাযুক্ত, সূক্ষ্ম দানাযুক্ত	কংগ্লোমারেট বালিপাথর-স্যান্ডস্টোন শেল্
(2) খণ্ড ও চূর্ণ পদার্থে তৈরী নয় (নন্-ক্লাস্টিক) এই-রকম পাথরগুলিঃ— কার্বনেট প্রধান উপাদান, দ্রবণীয় লবণ প্রধান উপাদান, ফসফেট প্রধান উপাদান, অঙ্গারত্মক পদার্থ প্রধান উপাদান, অন্যান্য	চুনাপাথর জিপসাম ও পাথুরে লবণ ফসফেট্ পাথর কয়লা অন্যান্য পাথর— যেমন আয়রণ-ফরমেশান

পাললিক পাথরের বিবরণ

ক্লাস্টিক্ পাললিক পাথর : এই শ্রেণীতে আছে কংগ্লোমারেট্, ব্রেক্সিয়া, বালিপাথর, শেল্।

বড়দানাযুক্ত ক্লাস্টিক পাথর

কংগ্লোমারেট্, ব্রেকসিয়া—এই শ্রেণীতে আছে সমস্ত বড় দানাযুক্ত ক্লাস্টিক্ পাথর।

গ্রাভেল

আলগাভাবে সঞ্চিত বড় মাপের গোলিত পাথরের টুকরা (নুড়ি) কে গ্রাভেল (gravel) বলা হয়; এদের মধ্যে 2 মিঃ মিঃ ব্যাসের থেকে বড় মাপের দানা থাকে। গ্রাভেলের মধ্যে শতকরা 30 ভাগ ঐ রকম বড় টুকরা পদার্থ থাকতে হবে। গ্রাভেল প্রস্তরীভূত (lithified) হলে তাকে কংগ্লোমারেট্ (conglomerate) বলে।

গ্রাভেল ও কংগ্লোমারেট্ যে অবয়ব (body) তৈরী করে সেগুলি খুব বিস্তৃত থাকে না, এরা channel filling অথবা wedge-shaped (অর্থাৎ যে অবক্ষেপ একদিকে মোটা ও আর একদিকে পাতলা হয়ে wedge আকার তৈরী করে)। তাছাড়া এরা সমানভাবে পুরু blanket conglomerate bed তৈরী করে।

গ্রাভেলের দানাগুলি গোলিত (rounded) না হয়ে যদি কোণিত (angular) হয় তবে তাকে রাব্ল্ (Rubble) বলা হয় ও তার প্রস্তরীভূতরূপকে ব্রেকসিয়া বলা হয়।

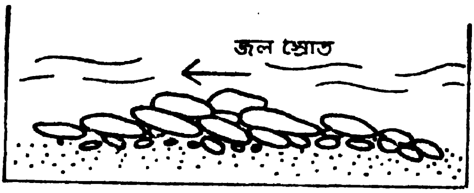
গ্রাভেলের মধ্যে বড় মাপের দানাগুলি পরস্পরের সংগে যুক্ত হয়ে একটি কাঠামো (frame work) তৈরী করে যার ফাঁকে ফাঁকে খালি জায়গা (void) থাকে। খালি জায়গার মধ্যে বালি বা অন্য ছোটদানা অথবা রাসায়নিক অধঃক্ষেপণের ফলে তৈরী সিমেন্ট্ (cement) থাকে।

গ্রাভেল স্তরের কি রকম আকার, দানাগুলি কতটা গোলিত অথবা দানাগুলির পারস্পরিক সম্বন্ধ বা texture কি রকম এইসব জানা গেলে গ্রাভেল কিভাবে পরিবাহিত হয়েছে, কিভাবে অবক্ষেপিত হয়েছে, তা জানা যায়। যেমন ফলকিত অর্থাৎ মসৃণ তলযুক্ত টুকরা হিম ফলকিত (ice faceted) হতে পারে ; বায়ু দ্বারা ফলকিত পাথরের বড়দানা এক বা তিন কোণযুক্ত হয় (einkanter or drei-kanter) ; গ্রাভেলের

দানার গায়ে চটা উঠা বা অন্য ধাক্কা লাগার দাগ থাকলে এরা উচ্চ গতিবেগ যুক্ত জলধারায় পরিবাহিত হয়েছে বোঝা যায়।

গ্রাভেল ও কংগ্লোমারেটে (স্তর বিন্যাস) বেডিং বড় মাপের হয় এবং ভালভাবে দেখা যেতে পারে, আবার অনুপস্থিত হতেও পারে। জলের ধারায় পরিবাহিত গ্রাভেলগুলির লম্বা দিকের নতি (dip) যে দিক থেকে জল আসছে সেই দিকে থাকে, একে imbrication বলে। নুড়ির লম্বাদিক যে জলস্রোতে নুড়ি বাহিত হয়েছে (direction of current flow) তারদিক নির্দেশ করে (চিত্র 74)। কোন কোন সময়ে তারা ঐ দিকের সঙ্গে 90° কোণ করে থাকতে পারে।

গ্রাভেলের মধ্যে কি কি পাথরের টুকরা থাকবে তা নির্ভর করে উৎস পাথরের উপর, ঐ অঞ্চলের ভূ-সংগঠনের ও আবহাওয়ার উপর। উৎস অঞ্চল উচ্চতাযুক্ত হলে দ্রুত ক্ষয়ীভবন হয় এবং হিমবাহ কাজ



চিত্র—74

গ্রাভেল নুড়িগুলির লম্বা দিক যে দিক থেকে জলস্রোত আসছে সেইদিকে নতি (ডিপ), অর্থাৎ ইমব্রিকেশান দেখায়।

করতে পারে। আবহাওয়া ও উচ্চতা দুই-ই ঐ অঞ্চলের ভূ-আলোড়ন (tectonism)-এর উপর নির্ভর করে। কংগ্লোমারেটের মধ্যে কোয়ার্টজ, কোয়ার্টজাইট ও চার্টের নুড়ি থাকলে তাকে পক্ক (mature) বলা যায়। কারণ অন্য পাথরের নুড়ি ক্ষয় হয়ে গেলেও এইসব পাথরের নুড়ির সহজে ক্ষয় হয় না।

কংগ্লোমারেটের (ও ব্রেকসিয়ার) শ্রেণী বিভাগ

(1) অর্থোকংগ্লোমারেট্ (orthoconglomerate)—এই জাতীয় নুড়িগুলি পরস্পরকে স্পর্শ করে ঘনসন্নিবিষ্ট কাঠামোর সৃষ্টি করে। এই কাঠামোর ফাঁকে ফাঁকে বড় দানা বালি অথবা খনিজ পদার্থের সিমেন্ট ও থাকতে পারে। দ্রুত জল প্রবাহের দ্বারা, যেমন বেশী গতি-বেগযুক্ত নদী বা সমুদ্রতীরে, এগুলির অবক্ষেপ হয় এবং এদের মধ্যে ভাল ক্রস্ বেডিং (তির্যক স্তর) দেখা যায়।

অর্থোকোয়ার্টজাইট কংগ্লোমারেটকে 2 শ্রেণীতে বিভক্ত করা যায়ঃ (ক) অর্থোকোয়ার্টজাইট কংগ্লোমারেট্ (Orthoquartzite conglomerate) ও (খ) পেট্রোমিক্ট কংগ্লোমারেট্ (Petromict conglomerate)।

(1ক) অর্থোকোয়ার্টজাইট্ কংগ্লোমারেট—একে অলিগোমিক্-টিক্ কংগ্লোমারেট্ (Oligomictic Conglomerate) বলা হয়—এদের টুকরাগুলির খনিজ উপাদান খুব সরল। নুড়িগুলি ক্ষয় প্রতি-রোধকারী পাথর যেমন কোয়ার্টজাইট্ ও চার্ট দিয়ে তৈরী। এগুলি সাধারণতঃ 1 সেঃ মিঃ ব্যাসের থেকে বেশী বড় দানা যুক্ত হয় না। এদের দানা বেশ সুগোলিত হয়। বালি পাথরের অবক্ষেপের তলায় এই কংগ্লোমারেট্ স্তর থাকতে পারে।

(1খ) পেট্রোমিক্ট কংগ্লোমারেট্ (Petromict Conglomerate) (আরকোজিক বা লিথিক—Arkosic or Lithic Conglomerate)—এদের টুকরাগুলির খনিজ উপাদান অসম প্রকৃতির। বড় দানাগুলি সহজে ক্ষয় হয়ে যায় (metastable) এই ধরণের নানারকম পাথর দিয়ে তৈরী হয়। এর মধ্যে বেশী থাকে গ্রানাইট্ বা চুনাপাথরের নুড়ি। এরা বেশী গভীর জলে অবক্ষেপিত হয়ে থাকতে পারে, যেমন basin margin-এ অবক্ষেপণের সমসাময়িক ফলটিং (faulting) এর জন্য গ্রাভেলগুলি উঁচু জায়গা থেকে এসে এজাতীয় কংগ্লোমারেটের স্তর সৃষ্টি করে। এদের পলিমিক্ট (Polymict) বা পেট্রোমিক্ট (Petromict) কংগ্লোমারেট বলা হয়।

(2) প্যারাকংগ্লোমারেট্ (Paraconglomerate)—এদের কংগ্লো-মারেটিক্ মাড্স্টোন্ (Conglomerate mudstone) ও বলা হয়। এই পাথরে শতকরা 10 ভাগের কম নুড়ি ও বাকী সবটাই মাড্স্টোন্ ম্যাট্রিক্স থাকে। এই শ্রেণীতে আছে pebbly বা cobbly মাড্স্টোন্, বোল্ডার ক্লে (boulder clay) বা হিমবাহের বরফ দ্বারা সঞ্চিত টিল (till)। যে পেব্লি মাড্স্টোন্ হিমবাহের সঙ্গে সম্পর্কহীন তাদের টিলয়েড্ (tilloid) বলে।

(2ক) টিলয়েড্ (Tilloid)—এরা হিমবাহের মাধ্যমে তৈরী নয়। এদের বড় দানাগুলি মাড্স্টোনের ম্যাট্রিক্সের মধ্যে থাকে। এই পাথরে স্তর বিন্যাস দেখা যায় না। টিলয়েড্ পাথরের স্তর যে সব পাথরের সংগে সংশ্লিষ্ট থাকে তারা হোল গ্রেডেড্ গ্রেওয়াকী (graded graywacke), গ্রিট্ (grit) ও সিল্ট্ স্টোন্।

নিম্নলিখিত যে কোনও উপায়ে টিলয়েড্ পাথর তৈরী হতে পারেঃ—(1) arid অঞ্চলে হঠাৎ বন্যার (flash flood) ফলে অবক্ষেপিত, (2)

হিমবাহের বরফ থেকে অবক্ষেপণের ফলে, (3) ধ্বস নামার ফলে, (4) মাড্ফ্লো, (5) টারবিডিটি প্রবাহের ফলে।

(2খ) টিল (Till) ও টিলাইট্ (Tillite) বরফের মাধ্যমে অবক্ষেপিত অস্তরীভূত ও বিভিন্ন মাপের দানাযুক্ত পাললিক পাথর হল টিল্; এদের বোল্ডার ক্লে (boulder clay) ও বলা হয়। টিল্ লিথিফায়েড্ (প্রস্তরীভূত) হয়ে গেলে টিলাইট্ বলে। এই পাথরে কব্ল্ ও বোল্ডারগুলি যে ম্যাট্রিক্সে থাকে তা হল সূক্ষ্মদানাযুক্ত ও গঠন বৈচিত্র্যহীন এবং তাদের উপর আবহ-বিকারের চিহ্ন থাকে না। টিলের দানার বাছাই বেশ লক্ষণীয়ভাবে কম। এদের মধ্যে খুব বড় বোল্ডার থাকতে পারে। হিমবাহে বরফের তলদেশে বা পার্শ্বদেশে নুড়িগুলি আটকে থাকে, তাই হিমবাহ যখন পাহাড়ের গায়ে চলতে থাকে তখন ঐ নুড়িগুলি স্থানীয় পাথরের সঙ্গে ঘষে যাওয়ায় এক এক দিক মসৃণ হয়ে গিয়ে ফলকিত, ফেসেটেড্ (faceted), হয় ও আঁচড়কাটা দাগযুক্ত (striated) হয়। কোনও কোনও টিল্ বা টিলাইট্ ভার্ভ (varve) ক্লের সংগে সংশ্লিষ্ট থাকে। ভারতবর্ষে গণ্ডোয়ানা যুগের তালচীর ফরমেশানে টিলাইট্ ও ভার্ভ পাওয়া যায়; হিমবাহের দ্বারা ঐগুলির অবক্ষেপ হয়েছে তার অনেক সাক্ষ্য যেমন ফেসেটেড্ ও আঁচড়কাটা দাগযুক্ত নুড়ি ইত্যাদি পাওয়া গেছে (চিত্র 49, 51)।

(2গ) ইন্ট্রাফরমেশানাল কংগ্লোমারেট্ (Intraformational conglomerate) ও ব্রেকসিয়া (Breccia)—পাললিক অবক্ষেপণের সময় যে স্তর তৈরী হচ্ছে সেই স্তর স্বস্থানেই টুকরা হয়ে গিয়ে পুনরায় একই জায়গায় অবক্ষেপণের ফলে এই পাথর তৈরী হয়। যে টুকরা পদার্থে এই পাথর তৈরী তা ঐ স্থানীয় পাথর থেকেই অবক্ষেপিত হয়, পরিবহণের দরকার হয় না। সামান্য একটু সময় অবক্ষেপণ কাজ বন্ধ থাকলে ঐ পলির স্তর ভেঙ্গে টুকরা হয়ে আবার অবক্ষেপিত হয়।

স্লেট্ বা শেল্ পাথরের নুড়ি, বালির ম্যাট্রিক্সের মধ্যে থেকে, এভাবে কংগ্লোমারেট্ তৈরী করে। এইরকম চেপ্টা নুড়িযুক্ত কংগ্লোমারেট্ শেল ও বালিপাথর এলাকাতে সচরাচর দেখা যায়। চুনাপাথর ও বালিযুক্ত চুনাপাথরের ম্যাট্রিক্সে চুনাপাথরের এইরকম চেপ্টা নুড়ি থাকলে এরকম পাথর তৈরী হতে পারে। ইন্ট্রাফরমেশানাল কংগ্লোমারেট্গুলি পলির অবক্ষেপণের সময় কোন উল্লেখযোগ্য বিরাম (break) নির্দেশ করে না। যদিও অবক্ষেপিত পলি ভেঙ্গে নুড়ি তৈরী হয়, তাহলেও এরজন্য কোন দীর্ঘ ক্ষয়ীভবনের দরকার নেই।

(2ঘ) ক্যাটাক্লাস্টিক ব্রেকসিয়া ও কংগ্লোমারেট (Cataclastic breccia and Conglomerate) ফল্ট জোনে (fault zone) পাথরের

এক অংশ আর এক অংশের গায়ে চলাচলের (movements) ফলে স্থানীয় পাথর ভেঙে ক্যাটাক্লাস্টিক পাথরের টুকরাগুলি সৃষ্টি হয়। এই পাথরকে T. Grabau (1904) "autoclastic" নাম দিয়েছেন। এর মধ্যে যেসব পাথরকে ধরা হয় তারা হোল—ফল্ট ব্রেকসিয়া, ক্রাস্ কংগ্লোমারেট ইত্যাদি। ভঙ্গুর ও বিভঙ্গযুক্ত পাথরে ঘর্ষণ ও গুড়া হওয়ার ফলে টুকরাগুলির ধারগুলি গোলাকার দেখায় ও সেগুলি ঘুরে যায়—এইভাবে crush conglomerate তৈরী হয়। এক এক ক্ষেত্রে তাদের সাধারণ কংগ্লোমারেট থেকে তফাৎ করা শক্ত হয়ে পড়ে।

(2ঙ) পাইরোক্লাস্টিক ব্রেকসিয়া ও কংগ্লোমারেট (Pyroclastic breccia and conglomerate)—আগ্নেয়গিরি থেকে উদ্গিরণের সময় ছোট বড় পাথরের টুকরা বায়ুমণ্ডলে নিক্ষিপ্ত হয়। এর মধ্যে যেগুলি 32 মিঃমিঃ এর থেকে বড় তাদের দিয়ে গঠিত পাথরের নাম এগ্লোমারেট (agglomerate)। এর মধ্যে যে সব পাথর সম্পূর্ণ কঠিন অবস্থায় নির্গত হয় তাদের Volcanic breccia বলে। এর মধ্যে আছে লাভা আগে কঠিন হয়ে যে পাথর তৈরী করেছে তার টুকরা, স্থানীয় পাথরের মধ্যে দিয়ে আসার সময় ম্যাগমা যে টুকরাগুলি ভেঙে আনে সেইগুলি। নরম লাভা পিণ্ডগুলি যদি বায়ুমণ্ডলে নির্গত হয় তাদের বলে Volcanic bomb। বায়ুমণ্ডলের মধ্যে তীব্রবেগে চরকীর মত ঘুরে চলার জন্য এই বম্বের গায়ে পাকান দাগ থাকে।

বহু আগ্নেয় অঞ্চলে বা আগ্নেয় পদার্থ বায়ুর মধ্যে দিয়ে অবক্ষেপিত, অর্থাৎ Pyroclastic পদার্থ, পরে আবার জলের মাধ্যমে এই পদার্থ সামান্য পরিবাহিত ও অবক্ষেপিত হতে পারে। তখন ভলকানিক ব্রেকসিয়া বা কংগ্লোমারেট, অথবা (ছোটদানাযুক্ত হলে) ভলকানিক স্যান্ডস্টোন তৈরী হয়।

মাঝারী দানা ক্লাস্টিক পাথর

বালিপাথর (Sandstone)

বালিপাথর প্রধানতঃ বালি কণার মাপের ক্লাস্টিক পলিতে তৈরী।

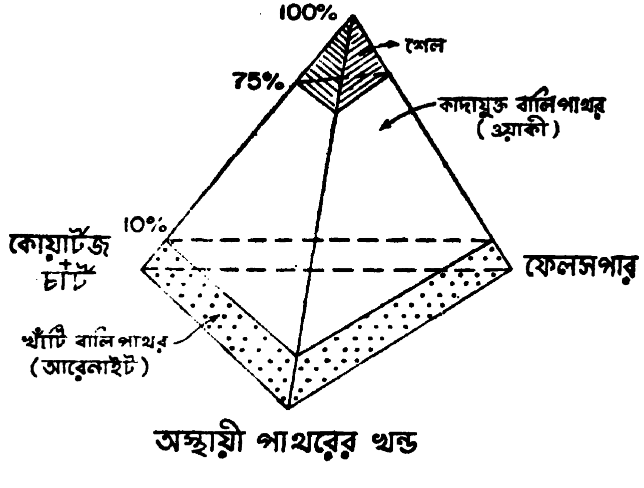
বালিপাথরে প্রধানতঃ 4 রকম ক্লাস্টিক উপাদান আছে। (ক) কোয়ার্টজ, কোয়ার্টজাইট ও চার্ট—এরা স্থায়ী (stable) দানা তৈরীর উপাদান।

(খ) ফেলসপার—এটি সবচেয়ে সুলভ অস্থায়ী (unstable) উপাদান।

(গ) তুলনামূলকভাবে কম স্থায়ী (unstable or labile) উপাদান হোল—ছোট দানা পাথরের টুকরা, যেমন গ্রীন স্টোন, সিল্ট, ফিলাইট, স্লেট, ভলকানিক পাথর, সূক্ষ্মদানা বালিপাথর ও বিরল ক্ষেত্রে চুনাপাথর।

(ঘ) আরজিলেশিয়াস (argillaceous) পদার্থ—প্রধানতঃ ক্লে, তবে সূক্ষ্মদানা সিল্টও (·02 m.m. এর থেকে ছোট) থাকে।

দানা বা টুকরাগুলির স্থায়িত্ব বেশ গুরুত্বপূর্ণ এবং তুলনা করলে দেখা যায় স্থায়িত্ব অনুসারে পাথরের টুকরাগুলিকে এইভাবে সাজান যায়—Quartz + Chert > Feldspar > Unstable Rock Fragment। বালিপাথরের শ্রেণী বিভাগে এই তিন উপাদানকেই প্রান্তিক উপাদান (End-member) বলে ধরা হয়। নীচের 4 উপাদানবিশিষ্ট ছবিতে



চিত্র 75

প্রধান চার উপাদান অনুসারে বালি পাথরের শ্রেণী বিভাগ।

বালিপাথরের দুই প্রধান শ্রেণীকে (C. M. Gilbert, 1954) দেখান হয়েছে, (চিত্র—75) এদের নাম হোলঃ—

(1) ওয়াকী (বা ওয়াক) (wacke)—কাদা মেশানো বালিপাথর যার মধ্যে আছে প্রচুর ক্লে ও সূক্ষ্ম সিল্ট; এরা সামান্য বাছাই হওয়া বা বাছাই না হওয়া দানাযুক্ত।

(2) আরেনাইট (arenite)—খাঁটি বা প্রায় খাঁটি বালিপাথর। এদের দানাগুলির ভাল বাছাই থাকে। বালির সঙ্গে অতি সামান্য কাদা (ক্লে ম্যাট্রিক্স) থাকে বা না থাকতে পারে।

বালিপাথরগুলির মধ্যে 4টি প্রধান পাথর আছে:—

(1) গ্রেওয়াকী (বা গ্রেওয়াক) (Graywacke)

(2) আরকোজ (Arkose)

(3) সাবগ্রেওয়াকী (Subgraywacke) বা লিথিক আরেনাইট (Lithic arenite)

(4) কোয়ার্টজ আরেনাইট (Quartz arenite) বা অর্থোকোয়ার্টজাইট (Orthoquartzite)

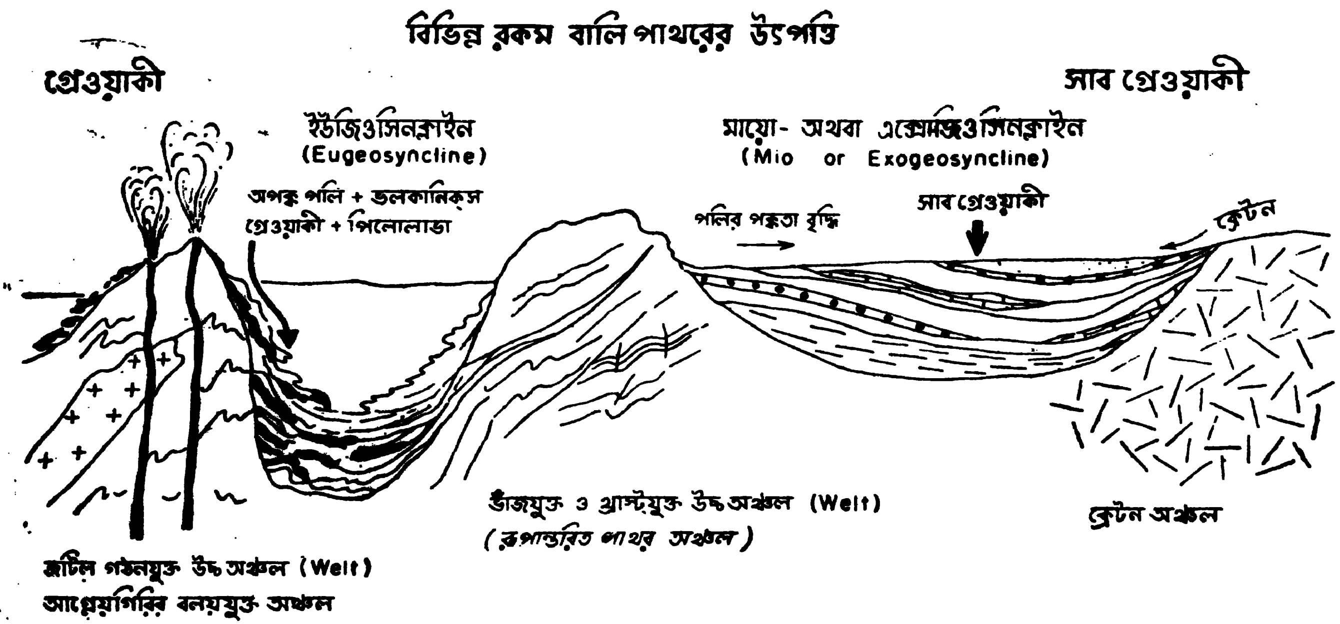
গ্রেওয়াকী (Graywacke)

কাদা মেশানো বালি পাথর (wacke) শ্রেণীর সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ পাথর হোল গ্রেওয়াকী। এরা কালচে রং-এর শক্ত পাথর। এদের ম্যাট্রিক্স বেশ কঠিন এবং তার প্রধান উপাদান হোল প্রচুর সূক্ষ্মদানা মাইকা ও ক্লোরাইট।

গ্রেওয়াকীতে দানাগুলির খারাপ বাছাই দেখা যায় এবং কোণিত দানা থাকে। গ্রেওয়াকী পাথরে অস্থায়ী পাথরের টুকরা থাকলে ঐ পাথরকে লিথিক গ্রেওয়াকী (Lithic graywacke) বলে। যদি টুকরা-গুলি বেসিক ভলকানিক পাথরের হয় তাহলে ভলকানিক গ্রেওয়াকী বলে (Volcanic graywacke)। ফেলসপার বেশী থাকলে ঐরকম পাথরকে ফেলসপাথিক গ্রেওয়াকী (Felspathic graywacke) বলে। C. M. Gilbert (1954) বলেছেন যে দানাগুলির শতকরা 90 ভাগ কোয়ার্টজ থাকলে অর্থাৎ বালি পাথরকে কোয়ার্টজ গ্রেওয়াকী নাম দেওয়া যায় (মনে রাখতে হবে যে এই পাথরে 10 ভাগের বেশী ম্যাট্রিক্স ও 90 ভাগের কম দানা থাকতে হবে)।

দার্জিলিং হিমালয়ের ডেলিংস (Dalings) এবং সিমলা হিমালয়ের সিমলা স্লেটস্ (Simla Slates) এর মধ্যে প্রভূত পরিমাণে গ্রেওয়াকী আছে, তাদের মধ্যে ফিলাইটের টুকরা দেখা যায়।

ভূপৃষ্ঠে গ্রেওয়াকী পাথর পাতলা স্তরযুক্ত হিসাবে দেখা যায় এবং ভিতরের গ্রেডেড বেডিং (graded bedding) দেখায়। এই জাতীয় স্তর-বিন্যাসে দানাগুলি তলা থেকে উপর দিকে ক্রমশঃ ছোট হয়ে আসে। গ্রেওয়াকীর সংগে শেল বা স্লেট পাথরের স্তর একটির পর একটি সজ্জিত দেখা যায়। কর্করীয় দানাগুলি বেশ ধারাল ও কোণিত থাকে এবং ম্যাট্রিক্সের মধ্যে অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দেখা যায় এমন দানার সমষ্টি (microcrystalline) paste-এর মত থাকে, যার মধ্যে আছে কোয়ার্টজ, ফেলস্পার, ক্লোরাইট, সেরিসাইট। অনেকে এই গ্রথনকে মাইক্রোব্রেকসিয়া (microbreccia) বলে উল্লেখ করেন। পলি খুব



চিত্র 76 A
বিভিন্ন শ্রেণীর বালি পাথরের উৎপত্তি।

মহাদেশীয় ক্রেটন অঞ্চলের নিকটবর্তী মায়ো অথবা এক্সোজিওসীনক্লাইন এলাকায় সাবগ্রেওয়াকী পাথর এবং দূরবর্তী আগ্নেয়গিরির বলয়যুক্ত ইউজিওসিনক্লাইন অঞ্চলে অপক পলি যুক্ত গ্রেওয়াকী পাথর ও তার সঙ্গে সংশ্লিষ্ট সামুদ্রিক এলাকায় নিঃসারী পিলোলাভা যুক্ত পরিবেশগুলি দেখান হয়েছে। (R. L. Folk, 1960 অনুসারে)

অপক্ক (immature) অবস্থায় থাকে এবং মনে হয় যেন কোন রকম বাছাই না করে অবক্ষেপণের এলাকায় সব পলি এক সঙ্গে ঢেলে দেওয়া হয়েছে। কোন কোন গ্রেওয়াকীতে পাইরাইট থাকে এবং বিজারক (reducing) পরিবেশ নির্দেশ করে।

গ্রেওয়াকী সব ভূতাত্ত্বিক যুগের ও সব জায়গার পাথরে পাওয়া যায়। তবে এদের প্রধানতঃ ভাঁজযুক্ত পার্বত্য অঞ্চলে এবং ইউজিও-সিনক্লিনাল পরিবেশেই পাওয়া যায় (চিত্র 76A)। এরা সামুদ্রিক পরিবেশ নির্দেশ করে, এবং সঙ্গে radiolarian chert ও pillow lava পাওয়া যায়। পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে গ্রেওয়াকী জাতীয় গ্রেডেড বেডিং-যুক্ত পলি turbidity current সাগরের গভীর অঞ্চলে অবক্ষেপণ করতে পারে।

সাবগ্রেওয়াকী (Subgraywacke) বা লিথিক আরেনাইট (Lithic arenite)

সাবগ্রেওয়াকী অপেক্ষাকৃত সুলভ পাথর। এই বালিপাথরে ফেলসপারের থেকে লিথিক টুকরা বেশী পরিমাণে থাকে এবং ম্যাট্রিক্স বেশ কম হতে পারে। শতকরা 10 ভাগের কম ম্যাট্রিক্স থাকতে পারে। এই পাথরগুলি অর্থোকোয়ার্টজাইট ও গ্রেওয়াকীর মাঝামাঝি চরিত্রের। এদের মধ্যে অস্থায়ী (unstable) পাথরের টুকরা ও ফেলস্পার মিলে শতকরা 25 ভাগ থাকে। এদের Gilbert (1954) লিথিক আরেনাইট বলেছেন। চিত্র 54 এতে একটি সাবগ্রেওয়াকী পাথর দেখান হয়েছে।

সাবগ্রেওয়াকীর ম্যাট্রিক্স সচরাচর চুনযুক্ত (ক্যালকেরিয়াস) এবং আংশিক ক্লে। সিলিকা সিমেন্ট থাকতেও পারে। সাবগ্রেওয়াকীর রং গ্রেওয়াকীর থেকে হালকা। এদের দানা গ্রেওয়াকীর দানার তুলনায় ভালভাবে বাছাই থাকে ও গোলিত (rounded) থাকে।

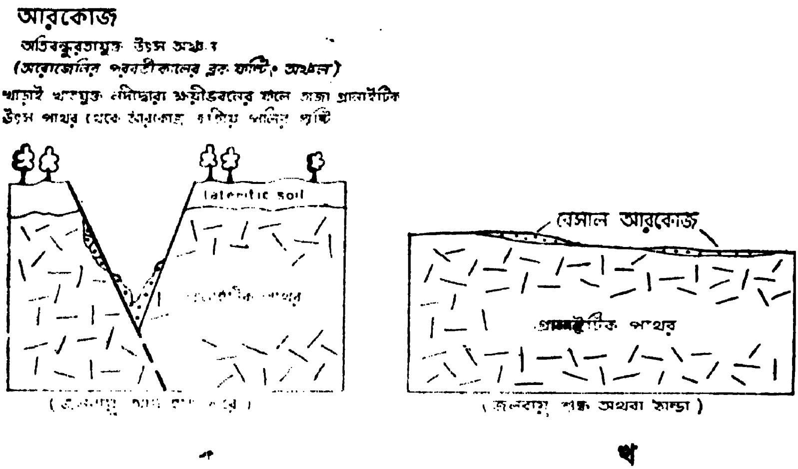
পাললিক পাথরের মধ্যে সাবগ্রেওয়াকী প্রভূত পরিমাণে দেখা যায় এবং গ্রেওয়াকীর থেকেও বেশী পাওয়া যায়। এদের উপর ক্রসবেডিং ও স্থানীয় রিপল মার্ক দেখা যায়। এরা বন্যাপ্লাবিত ভূমি, ব-দ্বীপ ও সমুদ্রতীর অঞ্চলে (পারালিক পরিবেশে Paralic environment) পাওয়া যায়। (চিত্র 76A)।

হিমালয়ের শিবালিক শ্রেণীর বালিপাথরের অধিকাংশই এই জাতীয় লিথিক আরেনাইট পাথর।

আরকোজ (Arkose)

ফেলস্‌পার সমৃদ্ধ (শতকরা 25 ভাগের বেশী) বালি পাথরকে আরকোজ বলা হয়; এদের কর্করীয় দানা গ্রানিটয়েড আগ্নেয় পাথর এবং ফেলস্‌পার যুক্ত উচ্চ গ্রেডের নাইস ও শিস্ট অঞ্চল থেকে আসে। এদের রং ফিকে গোলাপী বা ফিকে ধূসর।

আরকোজে প্রচুর কোয়ার্টজ ও ফেলস্‌পার (সাধারণতঃ মাইক্রোক্লীন, অর্থোক্লেজ, পার্থাইট বা সোডিক প্লাগীওক্লেস) থাকে। কর্করীয়



চিত্র 76 B

আরকোজ পাথরের উৎপত্তির অনুকূল দুই পরিবেশ। (ক) ব্লক ফটিং যুক্ত অঞ্চলের পরিবেশ (F. J. Hubert, 1960 অনুসারে) (খ) গ্রানাইট এলাকার ক্ষয়ীভবনের অবশিষ্টাংশ আরকোজ স্তর (R. L. Folk, 1960 অনুসারে)। (আরকোজ—ফুটকী চিহ্নযুক্ত)

দানাগুলি বড় মাপের কোণিত বা অকোণিত এবং অল্প থেকে মাঝারি রকম বাছাই করা। উপাদান অনুসারে এই পাথর অপক্ক (immature)। সিমেণ্ট দিয়ে দানাগুলি বেশ কঠিনভাবে সংলগ্ন থাকে, কোয়ার্টজ সিমেণ্ট ও ফেলস্‌পার ওভার গ্রোথ দেখা যায়; তাছাড়া সূক্ষ্ম কণা দিয়ে ম্যাট্রিক্স তৈরী হতে পারে। আরকোজ থেকে অর্থোকোয়ার্টজাইটের মাঝামাঝি উপাদানযুক্ত পাথরগুলিকে ফেলস্‌পাথিক বালিপাথর বলে। কাদাযুক্ত আরকোজের মত পাথর, যার মধ্যে 10% এর বেশী ম্যাট্রিক্স আছে, তাকে ফেলস্‌পাথিক ওয়াকী বলা হয় বা গ্রেওয়াকীর মত দেখতে হলে ফেলস্‌পাথিক গ্রেওয়াকী (Gilbert, 1954) বলে। এদিক থেকে আরকোজের মত পাথর ওয়াকী ও আরেনাইট—এই দুই শ্রেণীর বালিপাথরের মধ্যে পড়ে।

সাধারণতঃ mature বালির মধ্যে ফেলস্‌পার থাকে না। আরকোজে ফেলস্‌পার থাকার জন্য মনে করা হয় যে এরা দ্রুত পরিবাহিত ও অবক্ষিপ্ত হয় এবং উঁচু পাহাড়ী অঞ্চলে এই রকম সম্ভব (চিত্র 76 B)। ঠাণ্ডা ও শুষ্ক আবহাওয়া ফেলস্‌পারকে পরিবর্তনের হাত থেকে রক্ষা করে, তা না হলে কেওলীনাইজড্‌ হয়ে যেত। P. D. Krynine (1935) দেখিয়েছেন যে অতি দ্রুত ক্ষয়ীভবন ও অবক্ষেপণ হলে গরম ও স্যাঁতসেঁতে আবহাওয়াতেও ফেলস্‌পার তাজা থাকতে পারে।

আরকোজগুলি মহাদেশীয় ও অগভীর সমুদ্র (নেরিটিক) অবক্ষেপ এবং oxidizing অবস্থায় তৈরী হয়। এদের post-orogenic terrestrial accumulation বলে P. D. Krynine (1951) দেখিয়েছেন। তবে মনে রাখতে হবে যে ফেলস্‌পার এত বেশী আসতে হলে উৎস পাথরও এই রকম ফেলস্‌পারসমৃদ্ধ হতে হবে। এদের মধ্যে যে ভারী খনিজ থাকে তার মধ্যে অতিস্থায়ী (ultra stable) খনিজ ছাড়াও clinozoisite, epidote, hornblende, sphene, apatite দেখা যায়।

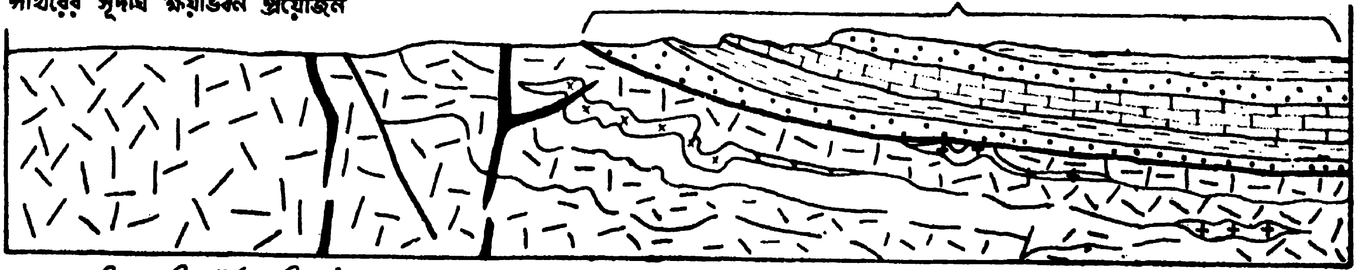
(1) গ্রানাইট এলাকাতে ক্ষয়ীভবনের পর ফেলস্‌পারসমৃদ্ধ অবশিষ্টাংশ (residuum) পাতলা চাদরের মত আরকোজের স্তর তৈরী করে। এরকম ক্ষেত্রে ঐ অবক্ষেপে আরকোজ এত কম decomposed ও reworked হয় যে সিমেন্টেসান হওয়ার পর তাদের ঠিক মূল গ্রানাইটের মতই দেখায় (চিত্র 76B)।

(2) আরকোজ পুরু স্তর ও কীলক-আকার অবক্ষেপ (wedge-shaped) তৈরী করতে পারে। তখন এর সঙ্গে গ্রানাইট-নুড়িযুক্ত কংগ্লোমারেট ও লাল শেল (Red shale) ও সিল্টস্টোন থাকে।

আরকোজ ও আরকোজিক কংগ্লোমারেট ভারতে পাখালস (Pakhals) এর মধ্যে আছে, ল্যামেটাস্‌ (Lametas) এর তলায় গ্রানাইট থাকলে basal arkose দেখা যায়। সিংভূম গ্রানাইটের উপর কোলহান ও ধানজোড়ীতে basal arkose আছে। গণ্ডোয়ানা কয়লা খনি অঞ্চলে পশ্চিমবাংলা ও বিহারের বরাকর ফরমেশানে আরকোজ ও আরকোজিক বালিপাথর আছে, এরা গণ্ডোয়ানার block-faulting-এর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট (চিত্র—53)।

অর্থোকোয়ার্টজাইট (Orthoquartzite) বা কোয়ার্টজ আরেনাইট (Quartz arenite)

খাঁটি বালিপাথরগুলিতে শতকরা 10 ভাগের কম আরজিলেশিয়াস পদার্থ থাকে, এজন্য এরা পরিষ্কার পাথর। এদের মধ্যে শতকরা 95 ভাগের বেশী কোয়ার্টজ+চার্ট থাকে। এদের দানার বাছাই খুব ভাল



চিত্র 76 C

অর্থোকোয়ার্টজাইট (কোয়ার্টজ আরেনাইট) পাথরের উৎপত্তির অনুকূল পরিবেশ। (R. L. Folk অনুসারে)।

ও দানাগুলি কৌণিত নয় এবং ম্যাট্রিক্সের অভাব থেকে বোঝা যায় যে ক্লেগুলি ধুয়ে (washed) ও বায়ুতাড়িত (winnowed) হয়ে অপসারিত হয়ে গেছে—এদের P. D. Krynine (1948) অর্থোকোয়ার্টজাইট বলেছেন ও কোয়ার্টজ আরেনাইট বলেছেন C. M. Gilbert (1954)।

এই পাথরগুলির দানা (ক) সুগোলিত থাকে ও sphericity খুব বেশী। (খ) দানার বাছাই ভাল থাকে। (গ) অস্থায়ী উপাদান (unstable constituents) থাকে না। এ থেকে বোঝা যায় যে ক্ষয়ীভবন, পরিবহণ ও অবক্ষেপণের মাধ্যমগুলি খুব সুন্দরভাবে কাজ করেছে। অথবা আর একটি বিকল্প ব্যাখ্যা হলো যে একবার পলি অবক্ষেপণের পর পাললিক পাথর সৃষ্টি হয়ে আবার তার ক্ষয়ী-ভবন হয়ে আবার তার থেকে অবক্ষেপণ হয়েছে। বেশ কয়েকবার এই রকম উপর্যুপরি ক্রিয়া বা reworking চললে দানাগুলির ভাল বাছাই হবে সেগুলি সুগোলিত হবে ও অস্থায়ী উপাদানগুলি ক্ষয়ীভূত হয়ে বাদ চলে যাবে। এই পাথরগুলি এজন্য পক্ক (mature) ও অতি পক্ক (super mature) এবং বায়ুর মাধ্যমে (aeolian) সমুদ্র সৈকতে এবং অগভীর সামুদ্রিক (নেরিটিক) পরিবেশে সাধারণতঃ এইরকম বালির অবক্ষেপণ হয় (চিত্র—76C)।

কোয়ার্টজ আরেনাইটগুলির দানাগুলি বেশ দৃঢ় সন্নিবিষ্ট কারণ সিলিকা সিমেন্ট দ্বারা এগুলি যুক্ত। এই সিমেন্ট দ্বারা দানার মাঝের ফাঁকগুলি (pore space) ভর্তি হয় এবং কোয়ার্টজের গোলিত কর্করীয় দানার উপর overgrowth হিসাবে সিলিকা (কোয়ার্টজ) রাসায়নিক উপায়ে অধঃক্ষেপণ হয়। এই কর্করীয় দানার আগেকার সীমানা অনেক ক্ষেত্রে ওভারগ্রোথ হওয়ার পরও চেনা যায়—কারণ সূক্ষ্ম ধুলোর কণা গোলিত দানার গায়ে লেগে থাকলেও তার উপর ওভার-গ্রোথ হয় ও এই ধুলোর রেখা আগেকার সীমানা নির্দ্দেশ করে। ওভার-গ্রোথ হওয়া কোয়ার্টজ, ভিতরের কর্করীয় দানার সঙ্গে অপটিক্যালি একইভাবে দিকনির্দিষ্ট থাকে অর্থাৎ তাদের কেলাসের C-axis একই দিকে থাকে (চিত্র—52)।

আনুবীক্ষণিক পরীক্ষাতেও ঐ কর্করীয় কোয়ার্টজের দানা গভীর-ভাবে অনুসন্ধান করলে, যে সব আদি উৎস পাথর থেকে এরা এসেছে তাদের সন্ধান পাওয়া যায়। ভারী খনিজ দানাগুলি এই পাথরে অতিস্থায়ী শ্রেণীর হয়, যথা zircon, tourmaline ও rutile।

সূক্ষ্মদানা ক্লাস্টিক পাথর

শেল (Shale), **মাডস্টোন** (Mudstone), **সিল্টস্টোন** (Siltstone)

সাধারণ পাললিক পাথরের মধ্যে শেল সব থেকে সুলভ। সূক্ষ্মদানা বিশিষ্ট হওয়ার জন্য অনুবীক্ষণ যন্ত্রে শেলের খনিজ দানা ভাল দেখা যায় না, এজন্য X-ray diffraction, Differential Thermal Analyses ও Electron microscope প্রভৃতি দ্বারা বিশেষ ধরনের পরীক্ষা করে এ জাতীয় পাথরের খনিজ উপাদান ও গ্রথন দেখা হয়।

ক্লে হোল প্রাকৃতিক মাটি; এর মধ্যে হাইড্রাস এলুমিনিয়াম সিলিকেট দিয়ে তৈরী ক্লে মিনারাল থাকে। সংজ্ঞা অনুসারে এর শতকরা অন্ততঃ 50 ভাগের আয়তনের মাপ ·002 m.m. এর কম। ক্লে কঠিনতাযুক্ত হলে ক্লে স্টোন (clay stone) বলা হয়।

শেল (Shale) হোল লামিনেটেড বা ফিসাইল (fissile) ক্লে স্টোন বা সিল্ট স্টোন (silt stone)। ফিসিলিটি (fissility) শেল পাথরের একটি বিশেষ গুণ যার জন্য শেল স্তরায়ন বরাবর ফেটে গিয়ে পাতলা পাতের সৃষ্টি করে (চিত্র—48)।

যদি ক্লে স্টোন ফিসাইল কিংবা লামিনেটেড না হয়ে ব্লক হয়ে ভাঙ্গে বা মাসিভ (massive) থাকে, তাহলে ঐ পাথরকে কর্দম পাথর বা মাডস্টোন (mudstone) বলে।

শেল সামান্য পুনরায় কেলাসনের ফলে কঠিন হলে তাকে আরজিলাইট (argillite) বলে। ঐ রকম পাথরে cleavage পরে তৈরী হলে তখন পাথরকে স্লেট (slate) বলা হয়।

ক্লে ও শেলে সিলিকা প্রচুর থাকে। এলুমিনা এই রকম পাথরের খুব গুরুত্বপূর্ণ উপাদান এবং কোন পাথরে খুব বেশী থাকতে পারে—যেমন বক্সাইট (Bauxite)। এই পাথরে ক্লোরাইট, পাইরাইট, লোহার অক্সাইড ও কার্বনেট থাকে। শেল, মাডস্টোন ও স্লেটে নানারকম রং দেখা যায়, কারণ বিশেষ রং যুক্ত পদার্থ ঐ সব পাথরে থাকে। অঙ্গারত্মক (carbonaceous matter) পদার্থ থাকলে কালো শেল (Black shales) হয়। লাল শেল বা লাল মাডস্টোনে হেমাটাইটের রং থাকার জন্য তারা লাল হয় বলে F. B. Van Houten (1968) পরীক্ষা করে দেখিয়েছেন। লিমোনাইট থাকলে কিন্তু ঐ রকম লাল রংয়ের মাডস্টোন হয় না।

Krynine (1948) দেখিয়েছেন যে—

> *শেল হোল=50 ভাগ সিল্ট+35 ভাগ ক্লে বা সূক্ষ্ম মাইকা+15 ভাগ রাসায়নিক বা অথিজেনিক পদার্থ।*
> আর খনিজ সংযুতি অনুসারে গড় শেল= $\frac{1}{3}$ কোয়ার্টজ+ $\frac{1}{3}$ ক্লে মিনারাল+ $\frac{1}{3}$ অন্যান্য পদার্থ, যেমন কার্বনেট, লোহার অক্সাইড ইত্যাদি।

Weaver (1967) দেখিয়েছেন যে শেলের অর্দ্ধেক ক্লে হোল ইলাইট (Illite) জাতীয় ক্লে মিনারাল।

কোন কোন ক্লে-তে পেলেট (pellet structure) থাকে। এই পেলেটগুলি ক্লে মিনারাল+কোয়ার্টজের ছোট ছোট (ব্যাস 0·1—0·3 মিঃমিঃ) দলা। তাদের চারদিকের ম্যাট্রিক্স ঐ খনিজেরই হয়।

ক্যালকেরিয়াস বা সিলিসিয়াস শেলগুলি ম্যাসিভ বা ফ্লাগী (flaggy), কিন্তু আরজিলেশিয়াস শেলগুলি ফ্লেকী (flaky) হয়।

কাল শেল (Black shales or carbonaceous shales)

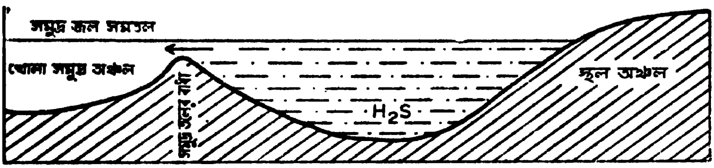
এই শেল পাথরগুলি খুব ফিসাইল এবং জৈব পদার্থে ও সালফাইড সালফারে সমৃদ্ধ ও কাল রংয়ের হয়। এদের মধ্যে 3—15% কার্বন থাকে। সূক্ষ্ম দানা লোহার সালফাইড খনিজ, যেমন পাইরাইট, মারকাসাইটও এই কাল রং তৈরী করে। ব্ল্যাক শেল খুব বেশী reducing অর্থাৎ অক্সিজেনের অভাবযুক্ত (anaerobic) পরিবেশে তৈরী হয়।

কয়লাযুক্ত পাললিক পাথর (Coal Measure) অঞ্চলে ধূসর বালি পাথরের সঙ্গে কাল শেল দেখা যায়। এই শেলের স্তরে স্থলের উদ্ভিদের বহু জীবাশ্ম পাওয়া যায়, তা থেকে জানা যায় যে এগুলি স্থলীয় অবক্ষেপ। গণ্ডোয়ানা কয়লা খনি অঞ্চলে এরকম কাল শেল প্রচুর আছে।

সামুদ্রিক পরিবেশে যে ব্লাক শেল তৈরী হয় তার জন্য বিশেষ পরিপার্শ্বের প্রয়োজন।

যদি সমুদ্রের মধ্যে ভূ-আলোড়নের ফলে স্থলের কাছে সমুদ্রতল উঠে সমুদ্র জলের তল (sea level) এর কাছে আসে তাহলে যে চৌকাঠের (Threshold) মত উঁচু সমুদ্রতলের সৃষ্টি হয় তা খোলা সমুদ্রকে তফাৎ করে ও একটি প্রায় বন্ধ জলের বেসিন তৈরী করে। ঐ বন্ধ জলের উপরের অংশ খোলা থাকলেও তলার অংশে অক্সিজেনের

অভাব হয় ও উদ্ভিদ ও প্রাণী দেহের পচনের ফলেH_2S তৈরী হয়ে বিশেষ বিজারক (reducing) পরিবেশ সৃষ্টি করে (যাকে euxinic বলা হয়)। এইভাবে যে পরিবেশ সৃষ্টি হয় তাতে ব্লাক শেলের অবক্ষেপণ হয়— তার মধ্যে কার্বন ও সালফাইড সালফার যুক্ত খনিজ (যেমন পাইরাইট) খুব বেশী থাকে।



চিত্র 77

ব্লাক শেল উৎপত্তির অনুকূল বিশেষ সামুদ্রিক পরিবেশ। সমুদ্রতল উঁচু হলে সমুদ্রের বদ্ধ অঞ্চলে জল H_2S সমৃদ্ধ হয়ে পড়ে ও এইরূপ বিজারক অবস্থায় ব্লাক শেল সৃষ্টি হয়।

ব্লাক শেলের মধ্যে V, U, As, Sb, Mo, Cu, Ni, Cd, Ag, Au এবং platinum group এর ধাতুগুলি সামান্য পরিমাণে থাকে। বিন্ধিয়ান বেসিনের কাইমুর সিরিজের মধ্যে উত্তর প্রদেশের আমঝোর নামে জায়গায় পাইরাইটযুক্ত ও কালো বিজয়গড় শেল পাওয়া যায়। এই ব্লাকশেল আংশিকভাবে ঘেরা বেসিন euxinic অবস্থায় তৈরী হয়েছে।

সিলিসিয়াস শেল (Siliceous shale)

এই জাতীয় শেলে সিলিকা 70% বেশী হয় এবং এই সিলিকা ওপাল (opal) অথবা এ্যাসিড ভলকানিক ash থেকে তৈরী হয়। মার্ল (Marl) একটি চুন ও ক্লে মিনারাল মিশ্রিত, সহজে গুঁড়া হয়ে যায় এমন পাথর। আরও ভালভাবে কঠিন থাকলে তাকে মার্লস্টোন বলে। এর মধ্যে শতকরা 35-65% $CaCO_3$ ও বাকী ক্লে থাকে এজন্য এগুলি মাটি মিশ্রিত চুনাপাথর।

সিল্টস্টোন (Siltstone)

সিল্ট ·05—·005 মিঃ মিঃ সাইজের কর্করীয় বালি। শক্ত পাথর তৈরী হলে সিল্টস্টোন (siltstone) বলে। এগুলি শক্ত flaggy পাথর, এর উপর ক্রশ বেডিং ও ফ্লো কাস্ট্ দেখা যায়। সিল্টের মধ্যে দানাগুলি কোণিত থাকে। কোনও কোনও সিল্টস্টোনে গ্রেডেড বেডিং দেখা যায় (চিত্র—51)।

Loess একটি কঠিন না হওয়া হালকা বাদামী রং-এর সিল্ট, এর মধ্যে স্তরায়ন থাকে না। এগুলি ক্যালকেরিয়াস হয়। লোয়েসে দানাগুলি খুব ভালভাবে বাছাই থাকে। এরা পাতলা চাদরের মত অবক্ষেপণ তৈরী করে। এইসব সাক্ষ্য থেকে এদের বায়ুর দ্বারা অবক্ষেপিত (aeolian) সিল্ট্ বলে মনে করা হয়।

Bentonite হোল ভলকানিক ash-এর স্থানীয় (in situ) পরিবর্ত্তনের ফলে তৈরী ক্লে; এই অবক্ষেপ সামুদ্রিক বা অসামুদ্রিক হতে পারে। এরা খুব plastic এবং smectite জাতীয় ক্লে মিনারাল দিয়ে তৈরী।

চার্ট (Chert)

চার্ট একটি রাসায়নিক উপায়ে অধঃক্ষেপিত পাললিক পাথর এবং এর উপাদান হোল শুধু মাইক্রোক্রিস্টালীন কোয়ার্টজ। চার্টের উপাদান খাঁটি সিলিকা, তার মধ্যে শতকরা 10 ভাগ ক্লে মিনারাল, ক্যালসাইট, এবং হেমাটাইট ইত্যাদি থাকতে পারে। চার্টের মধ্যে সূক্ষ্ম ছটাকারে সজ্জিত কেলাসের chalcedony দেখা যায়। চার্টের কোয়ার্টজ কেলাসগুলি খুব সূক্ষ্ম (·01—·0001 mm)।

বিভিন্ন নমুনার চার্টের নানা রকম নাম দেওয়া হয় ঃ

Jasper (লাল রং হেমাটাইট impurity থাকার জন্য)

Flint (গ্রে বা কাল-জৈব পদার্থ থাকার জন্য)

Novaculite (খাঁটি শাদা রং এর মধ্যে জলের inclusion থাকে)

Porcellanite (পোরসেলিনের মত টেক্সচার-আরজিলেসিয়াস ও ক্যালকেরিয়াস impurity-র জন্য)

Opal (isotropic amorphous silica, hydrous সিলিকার জেল)

সাধারণতঃ 2 রকম শ্রেণীর চার্ট বেশী দেখা যায়।

(1) চুনা পাথরের মধ্যে nodules (Nodular chert)

(2) স্তরায়িত চার্ট, শেল বা আয়রণ ফরমেশানের মধ্যে দেখা যায় (Bedded chert)।

চার্টের নডিউলগুলি কয়েক ইঞ্চি লম্বা ডিম্বাকৃতি দলার আকারের হয়। এগুলি চুনাপাথরের স্তরের প্রায় সমান্তরাল থাকে। এদের মধ্যে বিশেষ গঠন দেখা যায় না, কিছু কার্বনেট inclusion দেখা যায় যার জন্য মনে করা হয় যে এই চার্ট চুনাপাথরের প্রতিস্থাপনের ফলে তৈরী হয়েছে।

"বেডেড্ চার্ট" ইউজীওসিনক্লাইনাল এলাকার পাথরের স্তরের

মধ্যে সচরাচর দেখা যায়। এই চার্ট ভালভাবে স্তরায়িত থাকে, পাতলা-ভাবে স্তরীভূত (লমিনেটেড) বা আবার স্তরহীন হতে পারে। এদের রং কাল বা সবুজ হয়। এদের সংগে কাল রং এর শেল পাতলা স্তর হিসাবে মাঝে মাঝে থাকে। এদের মধ্যে radiolaria, sponge spicule, diatom ইত্যাদি জৈব অবশিষ্টাংশ দেখা যায়। এর মধ্যে পাইরাইট খনিজ পাওয়া যেতে পারে।

উৎপত্তি

চার্টের কতগুলি অবস্থান বৈশিষ্ট্য আছে এবং এর মধ্যে বিশেষ কতগুলি গঠন দেখা যায়ঃ (ক) পলির মধ্যে সিলিকা নডিউল (nodule) হিসাবে থাকতে পারে (খ) সিলিকা ক্রীপ্টোক্রস্টালীন (cryptocrystaline) অথবা এমরফাস (amorphous) হতে পারে (যেমন ওপাল opal), (গ) চার্ট নডিউলের মধ্যে সীমানার সমান্তরাল বিভিন্ন রং-এর

চিত্র 78

চার্টের প্রথম ইলেকট্রন মাইক্রোগ্রাফ অনুসারে রেখা চিত্র। কর্করীয় কোয়ার্টজ দানার (2 কেলাস ফেস দেখা যাচ্ছে, তাদের সংযোগ রেখা ||c) চারদিক ঘিরে চার্টদানা ও ক্যালসিডনি দ্রবণ থেকে অবক্ষেপিত হয়েছে।' -- কাল দাগগুলি আয়রণ হাইড্রক্সাইডের।

(**King and Merriam, 1969** অনুসারে)।

স্কেল :—

দাড়ি চিহ্ন

$= \frac{1}{1000}$ মিঃ মিঃ

চক্রাকৃতি স্তর থাকে, তাকে বলা হয় Liesgang ring (যেমন এগেট, agate-এর মধ্যে থাকে)। এই বৈশিষ্ট্যগুলির জন্য মনে করা হয় যে চার্ট সৃষ্টিতে সিলিকা কলয়েড (colloidal) আকারে অধঃক্ষেপিত হয়েছে। (চিত্র—78)।

Colloid-গুলি কেলাসিত নয়—যেমন গঁদ (glue), সাবান ও জিলেটিন, এরা জলের সঙ্গে মিশে সান্দ্র (viscous) দ্রবণ তৈরী করে এবং তা থেকে ঐ পদার্থ কেলাসিত করা যায় না। Colloidal পদার্থ অতি সূক্ষ্ম কণা (10^{-3} থেকে 10^{-6} মিঃ মিঃ) হিসাবে থাকে। জলের মধ্যে ছড়িয়ে থাকলে Sol বলে ও ঐ Sol ঠান্ডা করলে বা স্থির রাখলে জমে gel হয়। Gel একটা স্বচ্ছ (বা প্রায় স্বচ্ছ) প্রায় কঠিন পদার্থ।

সিলিকা (Quartz হিসাবে) জলে খুব সামান্য পরিমাণে দ্রবণীয়, মাত্র ·001% SiO_2 কিন্তু silica gel হিসাবে ·012% দ্রবণীয়। নদীর জল বা টিউবওয়েলের জলে ·001–006% SiO_2 থাকে অর্থাৎ প্রকৃত দ্রবণ (true Solution) হিসাবে থাকে। কিন্তু উষ্ণ প্রস্রবণের জলে ·035% কলয়ডাল অবস্থায় থাকতে পারে ও উষ্ণ প্রস্রবণের কাছে সিলিকা অবক্ষেপণ করতে পারে।

সমুদ্রের জলে সিলিকা খুব কম থাকে—মাত্র ·0001—·0002%. মনে করা হয় যে সামুদ্রিক প্রাণী যেমন diatom, radiolaria, সমুদ্রের জল থেকে SiO_2 দেহে গ্রহণ করে, তাছাড়া ক্লে মিনারাল ও গ্লকোনাইট, ক্লোরাইট সমুদ্রের পলিতে অধঃক্ষেপণ হওয়ার ফলে ঐ জলে সিলিকা কমে আসে। জলে এর সামান্য পরিমাণে সিলিকা থাকার জন্য, চার্টের উৎপত্তি একটি সমস্যার বিষয়।

কোন কোন চার্টের অবক্ষেপ সামুদ্রিক বা হ্রদের জলে অকেলাসিত (amorphous) সিলিকার সরাসরি colloidal অধঃক্ষেপণের ফলে তৈরী হয়। এদের মধ্যে স্লাম্প স্ট্রাকচার থেকে মনে করা হয় যে পলি অবক্ষেপের সময় nontectonic deformation-এ এই গঠন তৈরী। যেহেতু প্রাণীর দেহ থেকে সিলিকা এত শীঘ্র প্রস্তরীভূত হয় না সেজন্য মনে করা হয় যে অজৈব সিলিকা জেল (gel) হিসাবে ছিল। নডিউলযুক্ত চার্টের মধ্যের কার্বনেট ইনক্লুশান থেকে মনে করা হয় যে diagenesis এর সময় কার্বনেটকে সিলিকা প্রতিস্থাপন করে ঐ পাথর তৈরী করেছে। চার্ট তৈরী করার উপযোগী বেশী পরিমাণে সিলিকা ভলকানিক কাঁচের টুকরাও জলে যোগান দিতে পারে, যার থেকে রাসায়নিক উপায় ওপাল (amorphous silica) অধঃক্ষেপিত হতে পারে। আবার এই রকম পরিবেশে সিলিসিয়াস জীবও খুব বেশী তৈরী হয় এবং এই জৈব দেহ থেকেও diagenetic recrystallisation এর ফলে চার্ট তৈরী হতে পারে। যেমন পাওয়া গেছে ক্যালিফর্ণিয়ার Montery diatomite চার্টে (Bramlette, 1946)।

বিন্ধ্যযুগের প্রস্তরশ্রেণীর মধ্যে শোন উপত্যকার Porcellanite পাথর স্তরায়িত চার্টের একটি প্রকৃষ্ট উদাহরণ।

কার্বনেট পাললিক পাথর

(Carbonate Rocks)

কার্বনেট খনিজ দিয়ে তৈরী পাললিক পাথরকে কার্বনেট পাললিক পাথর বলা যায়—তাদের মধ্যে চুনাপাথর (Limestone) ও ডলোমাইট (Dolomite) প্রধান পাথর। এই কার্বনেট পাললিক পাথরগুলির মধ্যে প্রধান খনিজ উপাদান হোল ঃ

হেক্সাগোনাল রম্বোহেড্রাল ঃ

ক্যালসাইট $CaCO_3$
ডলোমাইট $CaMg(CO_3)_2$
ম্যাগনেসাইট $MgCO_3$
সিডেরাইট $FeCO_3$
এন্কারাইট $CaMgFe(CO_4)_3$

অর্থোরম্বিক ঃ

এরাগোনাইট $CaCO_3$

ক্যালসাইট অতি সামান্য পরিমাণে $CaMg(CO_3)_2$ বা $CaFe(CO_3)_2$ অণু কেলাস দ্রবণ হিসাবে গ্রহণ করে, তবে ডলোমাইট অল্প কিছু পরিমাণে ক্যালসাইট, এন্কারাইটের সংগে যে কোনও অনুপাতে কেলাস দ্রবণ তৈরী করেত পারে।

কোন কোন অমেরুদণ্ডী প্রাণীর কঠিন দেহাংশ ক্যালসাইটে তৈরী, আবার কোন কোনটি এরাগোনাইটে তৈরী, কোন কোন ক্ষেত্রে ক্যালসাইট ও এরাগোনাইট উভয়েই আংশিক ভাবে প্রাণীর কঠিন দেহাংশ তৈরী করে। উপরোক্ত কার্বনেট খনিজ ছাড়া কর্করীয় পদার্থ যেমন কোয়ার্টজ, ফেলসপার, ক্লে খনিজ, ও জৈব পদার্থ এবং অথিজেনিক খনিজ যেমন কোয়ার্টজ, ক্যালসিডনি, গ্লকোনাইট, জীপসাম, এনহাইড্রাইট, লিমোনাইট ও পাইরাইট কার্বনেট পাথরে পাওয়া যায়। চুনাপাথর জৈব উপায় তৈরী অথবা অজৈব উপায় অধঃক্ষেপিত কার্বনেট খনিজ দিয়ে তৈরী হতে পারে। জৈব উপায় প্রচুর প্রাণীর দেহাংশ দিয়ে তৈরী চুনাপাথরের টিপির মত (mound-shaped) রীফ গঠন করলে তাকে বায়োহার্ম বলে (bioherm)। বায়োহার্ম সছিদ্র ও স্তরবিহীন ডলোমাইট ও ক্যালসিটিক ডলোমাইট দিয়ে তৈরী এবং পার্শ্বদেশে ভালভাবে স্তরায়িত জীবদেহের ভগ্নাংশ, খণ্ডিত বা চূর্ণিত চুনাপাথর থাকে ও ঐ পদার্থ দিয়ে তার পরিবেশ তৈরী হয়। একটি বায়োহার্ম বহু শ্রেণীর অমেরুদণ্ডী প্রাণী দেহের দ্বারা তৈরী হতে পারে।

Biostromal চুনাপাথর—যে সকল চুনাপাথর প্রাণী দেহাবশেষে গঠিত, স্তরায়িত পাললিক পাথর তৈরী করলে তাকে বায়োস্ট্রোমাল চুনাপাথর বলে, যেমন ঝিনুক, শামুক প্রভৃতি জীবের খোলা সঞ্চিত হয়ে, যে পাথর সৃষ্টি হয়, সেগুলি, ক্রাইনয়েডাল লাইমস্টোন ইত্যাদি। এরা বায়োহার্মের মত উঁচু ঢিপির মত স্তর তৈরী করে না।

খোলা (shell—যেমন ব্রাকিওপড্, মোলাস্ক-এর শেল) দিয়ে তৈরী চুনাপাথরের অবক্ষেপকে কোকিনা (coquina) বলা হয়। এগুলি বড় দানাযুক্ত হয় ও খোলার টুকরাগুলি অল্পবিস্তর সিমেন্টেও থাকে। এর মধ্যে জীবাশ্মগুলির পুরা অথবা ভাঙা অংশ থাকে। কোকিনা একটি কর্করীয় চুনাপাথর।

দানার সাইজ অনুসারে চুনাপাথরের শ্রেণীবিভাগ

দানার সাইজ অনুসারে সমস্ত কর্করীয় চুনাপাথরগুলিকে কয়েক-শ্রেণীতে ভাগ করা হয় (F. J. Pettijohn, 1957) যেমন—

(1) Calcirudite—ক্যালসিরুডাইট—কর্করীয় কার্বনেট দানাগুলি 2 মিঃ মিঃ এর উপর ব্যাসযুক্ত হলে অর্থাৎ চুনাপাথরের নুড়ি দ্বারা গঠিত হলে ঐ পাথরকে Calcirudite বলে।

(2) Calcarenite—ক্যালক্আরেনাইট—বালি সাইজের $\frac{1}{16}$ থেকে 2 মিঃ মিঃ পর্যন্ত ব্যাসযুক্ত দানা থাকলে কর্করীয় (detrital) পাথর (অর্থাৎ যে পাথর রাসায়নিক উপায়ে অবক্ষেপিত নয়) কে ক্যালক্-আরেনাইট বলা হয়। এগুলি অন্যান্য 'কার্বনেট নয়' এই রকম বালিপাথরের মতই ক্রশ-বেডিং দেখায়। এদের মধ্যে জীবাশ্মের ভাঙ্গা টুকরা ছাড়া গ্লকোনাইট, উওলাইট ইত্যাদি পাওয়া যায় ও পরিস্কার ক্যালসাইট সিমেন্ট থাকে।

(3) Calcilutite—ক্যালসিলুটাইট—এই পাথর খুব ছোট দানা সিল্ট সাইজের ও মাড সাইজের কার্বনেট কর্করীয় দানায় তৈরী তাই এদের ক্যালসিলুটাইট বলা যায়। খুব ছোট দানার ও বেশ ঘন (dense) শাঙ্খক (কনকয়েডাল বা উপ-শাঙ্খক (সাব-কনকয়েডাল) ফ্রাকচার বিশিষ্ট হলে ক্যালসিলুটাইটকে lithographic limestone বলা হয়, কারণ এই জাতীয় ভাল পাথরগুলি lithographic ছাপার কাজে ব্যবহার করা হ'ত। চুনযুক্ত কাদা (calcareous mud) কিভাবে তৈরী হয় সে সম্বন্ধে কিছু মতভেদ আছে—কারণ বেশ কয়েকরকম উপায়ে এরা তৈরী হতে পারে।

কার্বনেট পাথরের উপাদান

কার্বনেট পাথরের খনিজ উপাদান উপরে লেখা হয়েছে। পাথরের উপাদানগুলি যে দানা তৈরী করে তা প্রধানতঃ দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যায় (R. L. Folk, 1959)—

(ক) এলোকেমিক্যাল উপাদান (Allochemical constituents) এগুলি রাসায়নিক অধঃক্ষেপ (precipitates)-এর ফলে তৈরী হয় না। কারণ এরা কার্বনেট কর্করীয় পদার্থ। অর্থাৎ পূর্বস্থিত চুনাপাথরের ক্ষয়ীভবন ও সেইগুলি সঞ্চয়নের ফল এই উপাদানগুলি।

(খ) অর্থোকেমিক্যাল উপাদান (Orthochemical constituents) এগুলি রাসায়নিক অধঃক্ষেপের ফলে তৈরী দানা।

(ক) এলোকেমিক্যাল উপাদান (Allochemical constituents) —এগুলি সাধারণ রাসায়নিক অধঃক্ষেপনের ফলে তৈরী হয় না। এরা নিম্নলিখিত পদার্থ দিয়ে সাধারণতঃ তৈরী হয়ঃ—

এগুলি কার্বনেট কর্করীয় পদার্থ (carbonate detritus) এবং সবই জলের তলায় তৈরী হয়। (1) যে অববাহিকাতে অবক্ষেপ হচ্ছে সেখানকারই স্তর অবক্ষয়ের ফলে ভেঙে এই পলি তৈরী হলে তাকে Intraclast বলে. যেমন limestone conglomerate—যার উপস্থিতি থেকে বোঝা যায় যে স্রোতের গতিবেগ অত্যধিক হওয়ার ফলে, অথবা tectonic instability-র ফলে ঐ স্তর ভেঙে গেছে। (2) জীবাশ্মের সম্পূর্ণ বা ভগ্নদেহাংশ এই কর্করীয় পদার্থে থাকে। (3) Oolite উওলাইট—এগুলি গোল বা ডিম্বাকৃতি বালিদানার মাপের কার্বনেট কণা—কেন্দ্রে কোন একটি পদার্থের কণার চারিদিকে চক্রাকারে সজ্জিত $CaCO_3$ দিয়ে তৈরী হয়। Oolite এর চক্রগুলি সাধারণতঃ aragonite-এ তৈরী হয়। উওলাইটগুলি যেখানে জোয়ার-ভাঁটা খেলে (যেমন বদ্বীপ অঞ্চল) সেই রকম অঞ্চলে তৈরী হয়। (4) পেলেট্স (pellets) এগুলি ছোট গোল কণা —যা প্রাণীদের অংশ থেকে $CaCO_3$ দিয়ে তৈরী। এগুলি অধিকাংশই প্রাণীর মল। চিত্র 55 এতে উওলাইটিক লাইমস্টোন এবং চিত্র 57 এতে ইন্ট্রাক্লাস্টযুক্ত লাইমস্টোন দেখান হয়েছে।

উপরোক্ত এলোকেমিক্যাল উপাদানগুলি স্রোতের দ্বারা পরিবাহিত ও বাছাই হয়ে অবক্ষেপিত—এই কারণে এদের অন্যান্য কর্করীয় পদার্থের মত গঠন দেখা যায় (যেমন ক্রশ-বেডিং)।

(খ) অর্থোকেমিক্যাল উপাদান (Orthochemical constituents) এগুলি সঠিকভাবে রাসায়নিক অধঃক্ষেপের ফলে অবক্ষেপণের

অববাহিকাতে অথবা পাললিক পাথরের দানার মধ্যে অধঃক্ষেপিত (chemically precipitated) হয়। এদের কোনও উল্লেখযোগ্য পরিবহন হয় না। এ জাতীয় উপাদানকে 2 ভাগে বিভক্ত করা যায়:—

(1) মাইক্রোক্রস্টালিন ক্যালসাইট ooze—এগুলি 1-4 মাইক্রন. সমুদ্রের জলে রাসায়নিক উপায় অধঃক্ষেপিত হয়। এগুলি লিথোগ্রাফিক চুনাপাথরের প্রধান উপাদান। উজ আংশিক ভাবে অজৈব উপায়—যেমন গরম হওয়া, বাষ্পীভবন. ও জলের বেশী নড়াচড়া (agitation) এর জন্য অধঃক্ষেপিত হয়; অথবা জৈব উপায়—যেমন এলগী, ব্যাকটেরিয়া বা অন্য জীব দ্বারা অধঃক্ষেপিত হতে পারে। এই রকম উজ অগভীর. গরম ও অংশত ঘেরা অঞ্চল. যেমন এটলাণ্টিক মহাসাগরের বাহামা অঞ্চলে প্রভূত পরিমাণে অবক্ষেপিত হতে দেখা যায়।

(2) স্পারী ক্যালসাইট সিমেণ্ট (Sparry calcite cement)—এগুলি 10 মাইক্রন পর্যন্ত বড় পরিষ্কার ক্যালসাইটের দানা। এরা সচরাচর দানার অন্তবর্তী ছিদ্রগুলিকে ভর্ত্তি করে ও ঐভাবে সিমেণ্ট তৈরী করে। এগুলি ক্যালসাইট ooze-এর পুনর্বায় কেলাসনের ফলেও তৈরী হতে পারে।

কার্বনেট পাথরের শ্রেণীবিভাগ

কার্বনেট পাথরকে অনুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে দেখলে দেখা যাবে যে তার কাঠামো (framework) তৈরী হয়েছে জীবদেহের খোলা জীবাশ্ম, উওলাইট. কার্বনেট নুড়ি বা পেলেট দিয়ে। ঐ কাঠামোর ফাঁকে ফাঁকে ক্লে মাপের মাইক্রোক্রস্টালিন উজ থাকে ম্যাট্রিক্স হিসাবে। এই রকম থাকলে বোঝা যায় যে অবঃক্ষেপণ অঞ্চলে জোরাল স্রোত ছিল না যার ফলে সূক্ষ্মদানাগুলি বিতাড়িত হয়নি। যখন সূক্ষ্মদানা উজ থাকেনা তখন ঐ পাথরে বড় দানায় কাঠোমার মধ্যবর্ত্তী স্থানে স্পারী ক্যালসাইট সিমেন্ট ভর্ত্তিকরে ও এইভাবে পাথরের ডায়াজেনেসিস হয়। এইভাবে মাইক্রোক্রস্টালিন উজ ও স্পারী ক্যালসাইট সিমেন্টের অনুপাত চুনাপাথরের একটি বিশেষ গুণ, কারণ এ থেকে দানা বাছাই কতটা হয়েছে বা পরিবেশে স্রোতের শক্তি কত ছিল তা জানা যায়। এইভাবে ঠিক বালিপাথরের মতই গ্রথনের পক্কতা (textural maturity) জানা যায়।

এজন্য চুনাপাথরের শ্রেণী বিভাগে এই তিন উপাদানগুলি ব্যবহার করা হয়।—

(ক) মাইক্রোক্রিস্টালীন ক্যালসাইট ম্যাট্রিক্স।

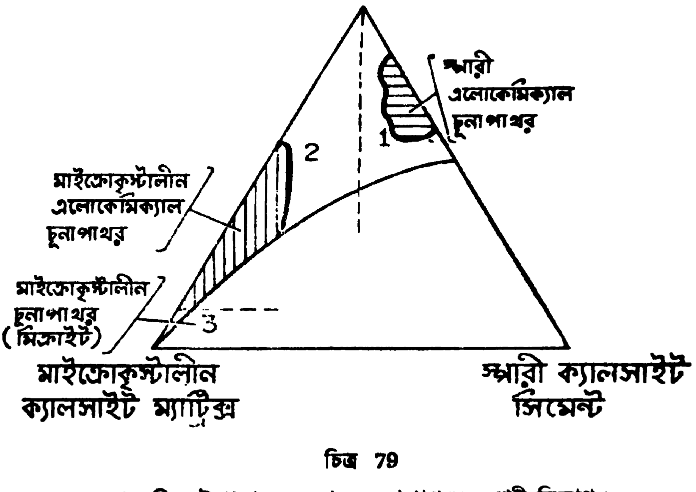
(খ) স্পারী ক্যালসাইট সিমেন্ট।

(গ) এলোকেমিক্যাল দানা।

79 ছবিতে এই তিন উপাদান দিয়ে একটি ত্রিভুজ আঁকা হয়েছে যার মধ্যে প্রধান তিন শ্রেণীর চুনাপাথরের উপাদান দেখান হয়েছে (R. L. Folk, 1968)।

এই প্রধান তিন শ্রেণীর চুনাপাথরের নামঃ

(1) স্পারী এলোকেমিক্যাল চুনাপাথর (sparry allochemical limestone)



চিত্র 79

প্রধান তিন উপাদান অনুসারে চুনাপাথরের শ্রেণী বিভাগ।

(R. L. Folk, 1960 অনুসারে)।

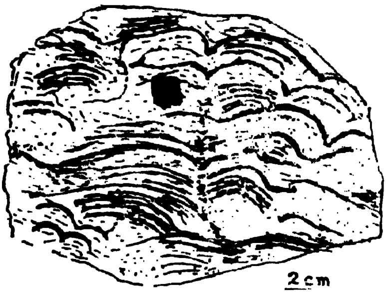
(2) মাইক্রোক্রিস্টালীন এলোকেমিক্যাল চুনাপাথর (Microcrystalline allochemcal limestone)

(3) মাইক্রোক্রিস্টালীন চুনাপাথর বা মিক্রাইট (Microcrystaline limestone or Micrite)

প্রথম শ্রেণীর চুনাপাথরে এলোকেমিক্যাল উপাদানগুলি স্পারী ক্যালসাইট সিমেন্ট দিয়ে যুক্ত থাকে। (এলোকেমিক্যাল) উপাদানগুলি ইন্ট্রাক্লাস্ট্, উওলাইট, ফসিল বা পেলেট্স হতে পারে)। দ্বিতীয়

শ্রেণীর চুনাপাথরে যথেষ্ট পরিমাণে এলোকেমিক্যাল উপাদান থাকতে পারে তবে ম্যাট্রিক্স তৈরী হয় মাইক্রোক্রস্টালীন oozc বা চুনযুক্ত কাদা (লাইম মাড) দিয়ে। মাইক্রোক্রস্টালীন এলোকেমিক্যাল লাইমস্টোন ও মাইক্রোক্রস্টালীন লাইমস্টোনের মধ্যে সীমানা স্থির করা হয়েছে যেখানে শতকরা 10 ভাগ এলোকেমিক্যাল উপাদান আছে। তৃতীয় শ্রেণীর চুনাপাথরগুলির মধ্যে প্রায় সবটাই মাইক্রোক্রস্টালীন উজ দিয়ে তৈরী —এদের মধ্যে স্পারী ক্যালসাইট সিমেণ্ট অথবা এলোকেমিক্যাল পদার্থ থাকে না।

ভারতবর্ষে বিভিন্ন ভূতাত্ত্বিক যুগের চুনাপাথর দেখা যায় জীবাশ্ম-



চিত্র 80

চুনা পাথরের স্ট্রোমাটোলাইট। ভাণ্ডের ফরমেশান। বিন্ধিয়ান। মধ্যপ্রদেশ। (B, Sarkar, 1976 অনুসারে)।

যুক্ত চুনাপাথরের উদাহরণ হলো—হিমালয়ের প্রোডাকটাস লাইমস্টোন (Productus Limestone), এলগাল লাইমস্টোন—যেমন আছে বিন্ধযুগের ভাণ্ডের ফরমেশানে (Algal Limestone, Bhander, Vindhyans)—এই রকম চুনাপাথরে শেওলা বক্রকার স্তরে স্তরে চুনাপাথরের পলি সঞ্চয় করে। এই গঠনকে Stromatolite বলে (চিত্র—80)।

ডলোমাইট (Dolomite)

কার্বনেট পাথরের (যার মধ্যে শতকরা 50 ভাগের বেশী কার্বনেট আছে) অর্ধেকের বেশী ডলোমাইট খনিজে তৈরী হলে সেই পাথরকে ডলোমাইট অথবা ডলোস্টোন (Dolostone) বলে। ডলোমাইট খনিজ সমৃদ্ধ পাথরকেও ডলোমাইট নাম দেওয়া হয়েছে. এই রকম দ্ব্যার্থক কথা হওয়ার জন্য ঐ পাথরকে ডলোস্টোন অনেকে বলেন। কিন্তু ডলোমাইট কথা পাথরের নাম হিসাবেও বেশ ব্যবহার হয়। কার্বনেট

খনিজের মধ্যে 10—50% ডলোমাইট খনিজ থাকলে পাথরকে ডলোমিটিক লাইমস্টোন বলা হয়। শতকরা 50—90 ভাগ থাকলে ক্যালসিটিক ডলোমাইট, ও শতকরা 90 ভাগের বেশী ডলোমাইট খনিজ থাকলে পাথরকে ডলোমাইট বলা হয় (F. J. Pettijohn, 1957) (চিত্র—56)।

ডলোমাইট পাথর প্রিক্যাম্ব্রিয়ান যুগ থেকে হলোসিন পর্যন্ত সব যুগেই পাওয়া যায়। ক্যালসাইট : ডলোমাইট অনুপাত প্রিক্যাম্ব্রিয়ান যুগে 1:3 এবং পাথরের বয়স কম হলে ক্যালসাইট অনুপাত বেশী হয়। কোয়াটারনারী যুগের কার্বনেট পাথরে ক্যালসাইট : ডলোমাইট অনুপাত 80:1।

ডলোমাইট প্রায় সর্বত্র 'ডলোমাইটিক নয়' এইরকম চুনাপাথরের সঙ্গে পাওয়া যায়। এদের প্রধানতঃ 2 রকম ভাবে পাওয়া যায়—(1) স্তরীভূত পাথর যা চুনাপাথরের সঙ্গে স্তরীভূত থাকে, (2) চুনাপাথরের স্তরের ভিতরে ফাটলে সঞ্চিত ডলোমাইট যার অবয়ব অসমাঙ্গ। প্রথমটি স্তর বিন্যাস দ্বারা পরিচালিত (এ জন্য S-dolostone বলা যায়)—ও দ্বিতীয়টি tectonically পরিচালিত এজন্য T-dolostone বলা হয়েছে (C. O. Dunbar and J. Rodgers, 1957)।

ডলোস্টোনের উৎপত্তি

এস্-ডলোস্টোনের উৎপত্তি হিসাবে 2 রকম কারণ জানা গেছে—(1) সমুদ্রের জল থেকে ডলোমাইট সরাসরি রাসায়নিক উপায় অবক্ষেপিত হয়েছে (primary precipitation theory), (2) আগে অবক্ষেপিত ক্যালসাইট সমুদ্রের তলদেশে পলিতে সামান্য চাপা পড়ার পর ডলোমাইটে পরিবর্তিত হয়েছে। (penecontemporaneous relacement theory).

S-dolostone এর ফসিলগুলি আগে ক্যালসাইট ও এরাগোনাইট ছিল কিন্তু এখন পরিবর্তিত হয়ে ডলোস্টোন হয়েছে। এ রকমভাবে প্রমাণিত হয়েছে ডলোমাইট খনিজ রাসায়নিক অধঃক্ষেপের ফলে তৈরী হয়নি কিন্তু ক্যালসাইটের প্রতিস্থাপনের এর ফলে তৈরী হয়েছে। বিশেষ করে কার্বনেট রীফগুলো প্রথমে ক্যালসাইট ও এরাগোনাইটে তৈরী হয়ে পরে প্রতিস্থাপিত হয়ে ডলোমাইটে পরিবর্তিত হয়েছে এরকম বহু প্রমাণ আছে।

T-dolostone-গুলি জয়েন্ট, চ্যুতি বা স্তরায়ন দিয়ে দ্রবণের দ্বারা পরিবর্তিত হয়ে সৃষ্টি হয়েছে। এরা আকরিক ধাতুর সঞ্চয়নের (ore deposits-এর) সঙ্গে সংশ্লিষ্ট থাকতে পারে।

অনেক ক্ষেত্রে দেখা যায় যে প্রথমে ক্যালসাইট অধঃক্ষেপনের পর metasomatism হয়ে ডলোমাইট দানাতে পরিণত হতে পারে এবং এই সবই ঘটতে পারে যখন ঐ দানাগুলি সমুদ্রতলে রয়েছে বা অতি সামান্য চাপা পড়েছে—এগুলি যদিও সরাসরি সমুদ্র জল থেকে ডলোমাইট হিসাবে অধঃক্ষেপিত হয়নি তবুও এরা প্রাথমিক ডলোমাইট নয় একথা বলা শক্ত।

ডলোমাইট খনিজটি সাধারণত বেশ বড় রম্বোহেড্রাল কেলাস তৈরী করে এজন্য প্রতিস্থাপনের ফলে চুনাপাথরে ডলোমাইট তৈরী হলে গ্রথন বেশ পরিবর্তিত হয় এবং ডলোমাইট পাথর ছিদ্রবহুল (porous) দেখায়। এজন্য খনিজ তেল বহু ক্ষেত্রে ডলোমাইটের মধ্যে পাওয়া যায়।

স্তরীভূত লৌহ প্রস্তর অথবা ব্যাণ্ডেড আয়রণ ফরমেশান

(Banded Iron Formation)

এই আয়রণ ফরমেশানগুলি পাতলাভাবে স্তরায়িত থাকে। এক-একটি স্তর 0·5—3·0 সেণ্টিমিটার মোটা হয়। এই স্তরগুলির মধ্যে আরও পাতলা (অর্থাৎ এক মিলিমিটার বা তার ভগ্নাংশ) ল্যামিনা (lamina) থাকে। আয়রণ ফরমেশানের বিভিন্ন স্তরের মধ্যে উপাদানের পার্থক্য দেখা যায় ; যেমন চার্ট জাতীয় সিলিকা সমৃদ্ধ স্তর, লোহা-সমৃদ্ধ স্তর পর পর সাজান থাকে।

লোহা বিভিন্ন খনিজ হিসাব থাকতে যেমন হেমাটাইট, ম্যাগনেটাইট, লোহার সিলিকেট খনিজ, সিডেরাইট ইত্যাদি। এই খনিজগুলি ব্যাণ্ডেড অয়রণ ফরমেশানের লোহা সমৃদ্ধ স্তরগুলিতে সঞ্চিত হয়।

আয়রণ ফরমেশানগুলি পৃথিবীর অন্যতম বিশাল খনিজ সম্পদ। ভারতবর্ষের বিহারের নোয়ামুণ্ডী, কিরিবুরু, ওড়িষ্যায় ঠাকুরাণী পাহাড় বারসুয়া, দক্ষিণ ভারতের বাবাবুদান পাহাড় এলাকা, পশ্চিম ভারতের গোয়া ইত্যাদি স্থানে বিশাল পার্বত্য এলাকা জুড়ে ব্যাণ্ডেড আয়রণ ফরমেশান আছে।

রাসায়নিক দিক থেকে এই পাথরগুলি প্রধান উপাদান লোহা ও সিলিকা। এলুমিনা ও এলক্যালী অতি সামান্য থাকে। অয়রণ ফরমেশানগুলি রাসায়নিক উপায়ে অধঃক্ষেপিত হয়ে উৎপত্তি হয়েছিল একথা সকলে স্বীকার করেন। এগুলির অধঃক্ষেপনে Eh ও pH রাসায়নিক বৈশিষ্ট্যগুলি বিশেষ কার্যকরী ছিল।

প্রিক্যামব্রিয়ান যুগের আয়রণ ফরমেশানগুলির মধ্যে (1) উত্তর আমেরিকায় Lake Superior অঞ্চলের আয়রণ ফরমেশানের মত বিস্তৃত অঞ্চলে শেল্ফ (shelf) অথবা মায়োজীওসিনক্লাইন (miogeosyncline) পরিবেশে অবক্ষেপিত পাথরগুলিকে Superior-type (সুপিরিয়র জাতীয়) এবং (2) আগ্নেয়গিরির উদ্গিরণের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট অবক্ষেপগুলিকে Algoma-type এলগোমা-জাতীয় বলা হয়। এই দ্বিতীয় শ্রেণীর পাথরগুলি প্রিক্যামব্রিয়ান ছাড়া তার পরবর্তী যুগেও পাওয়া যায়।

প্রিক্যামব্রিয়ান আয়রণ ফরমেশানগুলির বয়স 300—180 কোটি বৎসরের মধ্যে সীমাবন্ধ। ঐ যুগের আয়রণ ফরমেশানের পাথরে সূক্ষ্ম শৈবাল জাতীয় উদ্ভিদের জীবাশ্ম পাওয়া যায়। কোনও কোনও বৈজ্ঞানিক মনে করেন যে জৈব উপায়ে লোহার অধঃক্ষেপনে সাহায্য হয়েছিল।

ইভাপোরাইটস (Evaporites)

সমুদ্রের জলে লবণ দ্রবীভূত থাকে। এই সমুদ্রজল থেকে বাষ্পীভবনের ফলে লবণের অধঃক্ষেপন হলে যে পাললিক পাথর তৈরী হয় তাকে ইভাপোরাইট্স্ (Evaporites) বলা হয়। এই অবক্ষেপে সাধারণ লবণ (rock salt or halite, NaCl), জীপসাম ($CaSO_4$, $2H_2O$) ও এনহাইড্রাইট ($CaSO_4$) সর্বাপেক্ষা বেশী দেখা যায়। এছাড়া বাষ্পীভবনের ফলে অন্য কার্বনেট জাতীয় অধঃক্ষেপ, (যেমন ট্রাভারটাইন), তৈরী হতে পারে।

জার্মানীর বিখ্যাত স্ট্রাসফর্ট ডিপসিটে তিরিশটির বেশী লবণ জাতীয় খনিজের অবস্থানের কথা জানা গেছে।

ইভাপোরাইট পাথরে জীপসাম বড় থেকে খুব ছোট মাপের কেলাস তৈরী করে। ভারতবর্ষের হিমাচলের মান্ডীতে ও পাকিস্তানের সল্ট রেঞ্জে ইভাপোরাইটসের বড় অবক্ষেপ আছে; এই সব স্থানে রক সল্ট প্রধান খনিজ।

অল্প তাপাঙ্ক ও চাপে হেলাইট কঠিন অবস্থায় প্রবাহ অর্থাৎ ফ্লোয়েজ (flowage) হয়। ইভাপোরাইটসের স্তর গভীরভাবে চাপা পড়লে স্তম্ভের (plug-এর) আকারে অন্যান্য স্তর ভেদ করে উঠতে থাকে এবং সল্ট ডোম (salt dome) তৈরী করতে পারে। ইভাপোরাইট সাধারণত শেল অথবা ডলোমাইট্ পাথরের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট থাকে।

শুষ্ক অঞ্চলে বিশাল এলাকা সমুদ্রের জলদ্বারা প্লাবিত হলে বাষ্পীভবনের ফলে সমুদ্রের জল ঘন হয় ও লবণ বা জীপসামের কেলাসন ঘটে।

বাষ্পীভবনের জন্য উঁচু তাপাঙ্ক ও কম বৃষ্টিপাতের প্রয়োজন। কচ্ছের রান (Rann of Kutch) অঞ্চলে, রাজস্থানের সম্বর হ্রদ, ও মহারাষ্ট্রের লোনার হ্রদে বর্তমানে ইভাপোরাইট পলি অবক্ষেপিত হয়। স্মরণ রাখা দরকার যে বাষ্পীভবন অন্য অবস্থাতেও বেশী হতে পারে, যেমন দেখা যায় আর্কটিক (Arctic) ও এন্টার্কটিক (Antarctic) অঞ্চলে: সেখানে শুষ্ক আবহাওয়ায় সমুদ্রের জল বরফ হয়ে জমে গেলে ঘন লবণাক্ত ব্রাইন (brine) তৈরী হয় ও জীপসামের অবক্ষেপণ ঘটে।

ফসফেটিক পাথর (Phosphatic Rocks)

ফসফোরাইট (Phosphorite)

পাললিক ফসফেট নানাভাবে সামুদ্রিক বা অসামুদ্রিক পরিবেশে তৈরী হয়। পাললিক পাথরে ফসফেট খনিজ প্রধানতঃ এপেটাইট—ফ্লুউওর-এপেটাইট, $Ca_5(PO_4)_3F$, ক্লোর-এপেটাইট $Ca_5(PO_4)_3Cl$, হাইড্রোক্সী-এপেটাইট $Ca_5(PO_4)_3OH$। ফসফেটের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ ব্যবহার হোল সার তৈরীর জন্য। ফসফেট নডিউল বর্তমান গভীর (এবিস্যাল) সামুদ্রিক পরিবেশে ও অন্যান্য পরিবেশে পাওয়া যায়। এবং চুনাপাথরের মত এই ফসফেট পাথরে উওলাইট, পেলেট, ক্লাস্ট ইত্যাদি দেখা যায়। প্রধান ফসফেট্ পাথরের নাম ফসফোরাইট (Phosphorite)—এই পাথর মাটির মত দেখতে ও কঠিন, কখনও কখনও নডিউলার বা কনক্রিশানারী গঠন দেখায়। এর উপাদান হ'ল ক্যালসিয়াম ফসফেট ও ক্যালসাইট। ফসফোরাইটে শতকরা 80 ভাগ এপেটাইট থাকতে পারে (P_2O_5=30·5%)। ফসফোরাইট সরাসরি জলে দ্রবীভূত ফসফেট থেকে অধঃক্ষেপণের ফলেও রীফ চুনাপাথরের ক্যালসাইটের বদলে ফসফেটের প্রতিস্থাপনের (replacement) ফলে,—অবক্ষেপণ হতে পারে।

ভারতবর্ষের রাজস্থানে, ও তামিলনাড়ুতে পাললিক ফসফেট পাথরের অবক্ষেপ আছে।

কয়লা (Coal)

কয়লা ঘন কাল রংয়ের স্তরায়িত পাথর। উদ্ভিজ্জ পদার্থের সঞ্চয়নের ফলে এর উৎপত্তি। এর মধ্যে সহজ দাহ্য অঙ্গারময় পদার্থ ওজনে শতকরা 50 ভাগ থাকে।

কয়লার উপাদান হোল—হাইড্রোজেন, অক্সিজেন, নাইট্রোজেন ও ভলাটাইল পদার্থ (অর্থাৎ সহজে বিতাড়িত হয় এমন বায়বীয় পদার্থ):

ভলাটাইল পদার্থ গ্যাস হিসাবে জ্বলে। স্থির উপাদান (অর্থাৎ ভলাটাইল নয়) হিসাবে যে কার্বন থাকে তাহোল তাপ উৎপাদন করার গুরুত্বপূর্ণ উৎস। কয়লার মধ্যে অল্প সালফার পাইরাইট বা মার্কাসাইট খনিজ রূপে থাকে। সালফার বেশী থাকলে কয়লা ব্যবহারের সময় ক্ষতি হয়। কয়লার সঙ্গে কিছু সিলিকা, ও ক্লে খনিজ মিশ্রিত থাকে; কয়লা পোড়ান হলে এগুলি ছাই (Ash) হিসাবে অদাহ্য থেকে যায়। সূক্ষ্মস্তর বা কোন কোন জাতের কয়লাতে ব্যাণ্ড থাকে। ব্যাণ্ডেও কয়লার কিছু অংশ বিযোজিত হয়ে যায় ও উদ্ভিজ্জ পদার্থের বিভিন্ন অংশগুলি বিচ্ছিন্ন হয়ে পড়ে। বিভিন্ন ধরণের ব্যাণ্ডকে ফিউসেইন, ডিউরেইন, ক্লেরেইন ও ভিট্রেইন বলে। ফিউসেইন (Fusain) হোল অঙ্গারীভূত কাঠ—কাঠ কয়লার মত দেখতে। ডিউরেইন (Durain) বেশ ম্লান (dull) দেখতে—এটি শক্ত কালো, ও এর মধ্যে উদ্ভিদের বহিঃত্বক (কিউটিক্‌ল), সেপার ও অন্যান্য অংশ চেনা যায়। ক্লেরেইন (Clarain) ব্যাণ্ডগুলি বেশ উজ্জ্বল দেখতে এবং এর মধ্যে উদ্ভিজ্জ পদার্থের একটি ক্ষয়রোধকারী মিশ্রণ আছে। ভিট্রেইন (Vitrain) উজ্জ্বল কাঁচের মত দেখতে এরকম পদার্থে তৈরী এবং এটি লেনস্‌ বা পাত হিসাবে ব্যাণ্ডেড কয়লায় থাকে; এর উপর শাঙ্খিক বিভঙ্গ (কনকয়ডাল ফ্রাকচার) দেখা যায়। কয়লার উজ্জ্বল চকচকে ব্যাণ্ডগুলি ভিট্রেইন ও ক্লেরেইন দিয়ে তৈরী, আর ফিউসেইন ও ডিউরেইন কয়লার ম্লান (dull) ব্যাণ্ডগুলি তৈরী করে। কয়লার উৎপত্তির প্রাথমিক অবস্থায় উদ্ভিজ্জ পদার্থ বিযোজিত হয়ে যে পদার্থ তৈরী করে তা হল পীট (Peat)। কয়লা প্রধানতঃ তিন শ্রেণীর—(1) ব্রাউন কোল বা লিগনাইট (Lignite)—এটি নীচু জাতের (rank) কয়লা। এদের রং বাদামী বা বাদামী ধরণের কালো। লিগনাইটে কাঠের মত গঠন দেখা যায়। লিগনাইটে জলীয় ভাগ বেশী থাকে ও তাপ উৎপাদন করার ক্ষমতা (heat value) কম থাকে (2) বিটুমিনাস (Bituminous) কয়লা উঁচু জাতের (high-rank) কয়লা। এর মধ্যে বেশী কার্বন ও কম জল থাকে। বিটুমিনাস কয়লা বেশ সহজ দাহ্য ও বাতাসের সংস্পর্শে এলে গুড়া হয়ে যায় না। বেশীর ভাগ বিটুমিনাস কয়লা স্তরায়ণ (ব্যাণ্ডেড স্ট্রাকচার) দেখায়। (3) এন্‌থ্রাসাইট (Anthracite) কয়লা বেশ উজ্জ্বল কালো, শক্ত ও শাঙ্খিক বিভঙ্গ দেখায়। এর মধ্যে কার্বন খুব বেশী থাকে ও হাইড্রোকার্বন কম থাকে। এই কয়লা আরও নীচু জাতের কয়লার তুলনায় আস্তে আস্তে পোড়ে ও তখন কম ধোঁয়া হয়, আর নীল রং-এর শিখা দেখা যায়।

কয়লার উৎপত্তি ঃ কয়লায় জৈব গঠন (organic structure) দেখা যায়। অপরিবর্তিত কাঠ থেকে আরম্ভ কোরে প্রায় সম্পূর্ণ কার্বনে তৈরী এনথ্রাসাইট পর্যন্ত পর পর যে ক্রমপরিবর্তন দেখা যায় তা থেকে বেশ বোঝা যায় যে কয়লার জন্ম উদ্ভিদ থেকে। কয়লা যে সব গাছপালা দিয়ে তৈরী হয় তারা যে স্থানে জন্মায় সেই স্থানেই জমা হয়ে কয়লা সৃষ্টি করতে পারে অথবা সেইগুলি পরিবাহিত হয়ে অন্যত্র জমা হয়ে কয়লার স্তর তৈরী করতে পারে। কয়লা অবক্ষেপণ স্থানগুলি মিঠে জলের জলাভূমি (Swamp) ছিল। জলের তলায় উদ্ভিজ্জ পদার্থ জমা হোত ও সেইজন্য অক্সিজেনের অভাব হওয়ায় উদ্ভিজ্জ পদার্থ আংশিকভাবে জারিত (অক্সিডাইজ্ড) হয় এবং বিয়োজনও কম হয়, তার ফলে জৈব পদার্থ জমতে পারে। উপরের পলির চাপে ও উচ্চ তাপাঙ্কের ঐ জৈব পদার্থ কয়লায় পরিবর্তিত হয়। সাধারণতঃ ভাঁজ বহুল এলাকাতে এনথ্রাসাইট জাতীয় কয়লা তৈরী হতে পারে। ভারতবর্ষে গণ্ডোয়ানা যুগের পাললিক পাথর যেখানে পাওয়া যায় তার মধ্যে প্রভূত পরিমাণে কয়লার স্তর আছে। পশ্চিমবঙ্গের রাণীগঞ্জে ও বিহারের ঝরিয়া কয়লার খনি অঞ্চল ও মধ্যপ্রদেশের কয়লার খনি অঞ্চলে বিটুমিনাস কয়লার স্তরগুলি অবস্থিত। এদের সঙ্গে যে শেল ও বালিপাথর পাওয়া যায় তাদের উপর গণ্ডোয়ানা যুগের উদ্ভিদের জীবাশ্ম দেখা যায়। ঐ জাতীয় উদ্ভিদ থেকেই কয়লার স্তরের সৃষ্টি হয়েছিল। তামিলনাড়ু রাজ্যের নাইভ্যালীতে ও রাজস্থানে লিগনাইটের বিস্তৃত অবক্ষেপণ আছে। এই পাথর টারশিয়ারী যুগের।

একাদশ অধ্যায়

পাললিক পাথরের রাসায়নিক উপাদান

পাললিক পাথরগুলির মধ্যে রাসায়নিক উপাদানে খুব বেশী পার্থক্য দেখা যেতে পারে। যেমন বালিপাথরে আছে শতকরা 99 ভাগের

পৃথিবীর সমস্ত পলির গড় উপাদান ও প্রধান প্রধান পাললিক পাথরের গড় উপাদান। (জল শূন্য অবস্থার হিসাব দেখান হয়েছে।)
[A. Poldervaart (1955) থেকে সঙ্কলিত]

	1 সমস্ত পলির গড় উপাদান	2 অর্থো-কোয়া-র্টজাইট	3 আরকোজ	4 গ্রেওয়াকী	5 শেল	6 চুনাপাথর
SiO_2	44·5	92·5	76·1	65·8	62·2	5·2
TiO_2	0·6	...	...	0·5	0·7	0·1
Al_2O_3	10·9	1·4	11·5	14·4	16·5	0·8
Fe_2O_3	4·0	0·2	2·4	1·0	4·3	0·5
FeO	0·9	0·3	...	4·3	2·6	...
MnO	0·3	...	0·2	0·1	...	0·1
MgO	2·6	0·1	0·1	3·0	2·6	8·0
CaO	19·7	3·0	1·6	3·6	3·3	43·0
Na_2O	1·1	0·1	2·0	3·5	1·4	0·1
K_2O	1·9	0·1	5·7	2·1	3·5	0·3
P_2O_5	0·1	...	...	0·1	0·2	...
CO_2	13·4	2·3	0·4	1·6	2·7	41·9

বেশী SiO_2, বক্সাইটে শতকরা 70 ভাগ Al_2O_3, লিমোনাইটে 75 ভাগ Fe_2O_3, ডলোমাইট পাথর 20 ভাগ MgO এবং চুনাপাথরে 56 ভাগ CaO থাকতে পারে।

পাললিক পাথরের রাসায়নিক বিশ্লেষণের কি কি বিশেষত্ব আছে? (1) পটাশিয়াম (K), সোডিয়াম (Na) থেকে বেশী, (2) এ্যালকালী+ক্যালসিয়াম (Na+K+Ca) এলুমিনিয়ামের (Al) থেকে 1:1 অনুপাতের থেকে বেশী থাকে. (3) বালি ও চার্ট পাথরে খুব বেশী সিলিকা (SiO_2) থাকে. (4) কার্বনেট পাথরে বেশী ক্যালসিয়াম (Ca) ও ম্যাগনেশিয়াম (Mg) থাকে. (5) ফেরিক লোহা (Fe^{+3}) ফেরাস লোহার (Fe^{+2}) তুলনায় বেশী থাকে।

ভূত্বকে যত পাললিক পাথর আছে তাদের রাসায়নিক বিশ্লেষণে গড় উপাদান কেমন? প্রথমে ভূত্বকের কোন অংশে কি রকম পলি আছে এবং কত আছে তার একটি হিসাব করা হয়েছে। A. Poldervaart (1954) বেশ সতর্কতার সঙ্গে ঐ হিসাব করেছেন। তারপর প্রতি প্রধান প্রধান শ্রেণীর পাললিক পাথরের বহু রাসায়নিক বিশ্লেষণ থেকে তাদের প্রত্যেকটির গড় বিশ্লেষণ বের করেছেন। এই দুই হিসাব থেকে সমগ্র ভূত্বকে পলির গড় রাসায়নিক বিশ্লেষণ স্থির করা হয়েছে।

দ্বাদশ অধ্যায়

পাললিক পাথরের বিবর্তনের বিভিন্ন প্রক্রিয়া

পাললিক ডিফারেন্সিয়েশান (Sedimentary differentiation) :

ক্ষয়ীভবনের সময় রাসায়নিক ও যান্ত্রিক নানা উপায় আবহ-বিকার ঘটে, তারপর ঐসূত্রে সংগৃহীত পলি বিবিধ প্রকার মাধ্যমে পরিবাহিত হয়, এবং বিভিন্ন পরিবেশে (বিভিন্ন রাসায়নিক এবং ভৌতিক অবস্থায়) পলির অবক্ষেপণ হয়। এভাবে উৎস থেকে সংগৃহীত পদার্থের যান্ত্রিক এবং রাসায়নিক বাছাইকে সেডিমেণ্টারী ডিফারেন্সিয়েশান বলা হয়। বিশেষ করে রাসায়নিক ডিফারেন্সিয়েশান খুব লক্ষণীয় হয়।

V. M. Goldschmidt দেখিয়েছেন যে (1) যে খনিজগুলি রাসায়নিক এবং যান্ত্রিক ক্ষয়রোধকারী দানা হিসাবে তাদের সঞ্চয়ন হয়। যেমন কোয়ার্টজের বালি। (2) এলুমিনোসিলিকেট—খনিজের উপর রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে ভেঙ্গে ক্লে খনিজযুক্ত কাদার সৃষ্টি হয়—এই উপায়ে এলুমিনিয়াম ও পটাশিয়াম সঞ্চিত হয়। (3) কাদা জাতীয় পলির সৃষ্টির সঙ্গে সঙ্গে বা তার থেকে কিছু দূরে ও কিছু সময় পরে লোহা ফেরিক হাইড্রক্সাইড হিসাবে অধঃক্ষেপিত হয়। এই উপায়ে লোহা সঞ্চিত হয়ে আকরিক লোহা তৈরী করতে পারে। (4) ক্যালসিয়াম অধঃক্ষেপিত হয় ক্যালসিয়াম কার্বনেট হিসাবে, অথবা জৈব পদার্থ দ্বারা চুনাপাথর তৈরী হতে পারে (5) যেসব ক্ষারক (base) দ্রবীভূত থাকে অবশেষে তারা সমুদ্রের জলে সঞ্চিত হয় ও বাষ্পীভবনের ফলে অধঃক্ষেপিত লবণের অবক্ষেপ তৈরী করতে পারে। নীচে নক্সায় সব উপায়গুলি দেখান হয়েছে—

→

Si ↓	Al, Si, K ↓	Fe ↓	Ca, (Mg) ↓	(Ca), Na, (K), (Mg) ↓
Resistates	Hydrolysates	Oxidates	Carbonates	Evaporites
SiO_2	Clay Minerals	$Fe(OH)_3$	$CaCO_3$, $CaMg(CO_3)_2$	$NaCl$, $CaSO_4$, $MgSO_4$ etc.

এর সঙ্গে Goldschmidt আর একটি শ্রেণী তৈরী করেছেন Reduzates যার মধ্যে আছে কয়লা, খনিজ তৈল, পাললিক সালফাইড ও সালফার। এগুলি reducing (অর্থাৎ অক্সিজেনের অভাবযুক্ত) পরিবেশে তৈরী হয়।

জিওকেমিক্যাল ফেন্স (Geochemical Fences)

পাললিক পরিবেশগুলিকে 2টি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ রাসায়নিক গুণের উপর নির্ভর করে শ্রেণীবিভাগ করা যায়। W. C. Krumbein and R. Garrels (1952) দেখিয়েছেন যে (1) হাইড্রোজেন-আয়ন কনসেনট্রেশান ও (2) অক্সিডেশান-রিডাকশান পোটেনশিয়াল—এই দুটির তারতম্য অনুসারে পাললিক পরিবেশগুলিকে কতগুলি "ভূরাসায়নিক বেড়া" দিয়ে ভাগ করা যায়।

(1) **হাইড্রোজেন-আয়ন কনসেনট্রেশান**—

জলের হাইড্রোজেন-আয়ন কনসেনট্রেশান পলির অবক্ষেপণে গুরুত্বপূর্ণ। 20°C-এ খাঁটি জলে H-ion concentration 10^{-7} moles প্রতি লিটারে থাকে। যদি খাঁটি জলের তুলনায় কোন দ্রবণে ঐ কনসেনট্রেশান বেশী থাকে, তাহলে দ্রবণটি এসিড বলা হয়। যদি কম থাকে তাহলে দ্রবণটি ক্ষারীয়।

এই মাপটিকে নেগেটিভ লগারিদম (negative log to the base 10) হিসাবে প্রকাশ করলে আমরা যে পরিমাণ পাই তাকে pH বলে। সুতরাং খাঁটি জলে pH হোল 7.

(2) **অক্সিডেশান-রিডাকশান পোটেনশিয়াল**—

ভূত্বকে বহু মৌলিক পদার্থ একাধিক অক্সিডেশান অবস্থায় থাকে। যেমন লোহা, ধাতু হিসাবে (অক্সিডেশান অবস্থা =0) Fe^{++} ফেরাস হিসাবে (অক্সিডেশান অবস্থা=2) Fe^{+++} ফেরিক যৌগিক হিসাবে (অক্সিডেশান অবস্থা=3) সেই রকম ম্যানগানীজের (2,3,4), ভানাডিয়ামের (3,4,5,) কপারের (0,1,2) অক্সিডেশান অবস্থা আছে। কোন একটি অক্সিডেশান স্টেটে (oxidation state) একটি মৌলিক পদার্থের স্থায়ীত্ব (stability) নির্ভর করে কতটা শক্তির তারতম্য (energy change) ঐরূপ করার জন্য প্রয়োজন হয় তার উপর। এই শক্তির তারতম্যের একটি পরিমাপ হোল অক্সিডেশান-রিডাকশান পোটেনশিয়াল, বা অক্সিডেশান পোটেনশিয়াল, বা রেডক্স-পোটেনসিয়াল (Oxidation-Reduction Potential or Oxidation Potential or Redox Potential)।

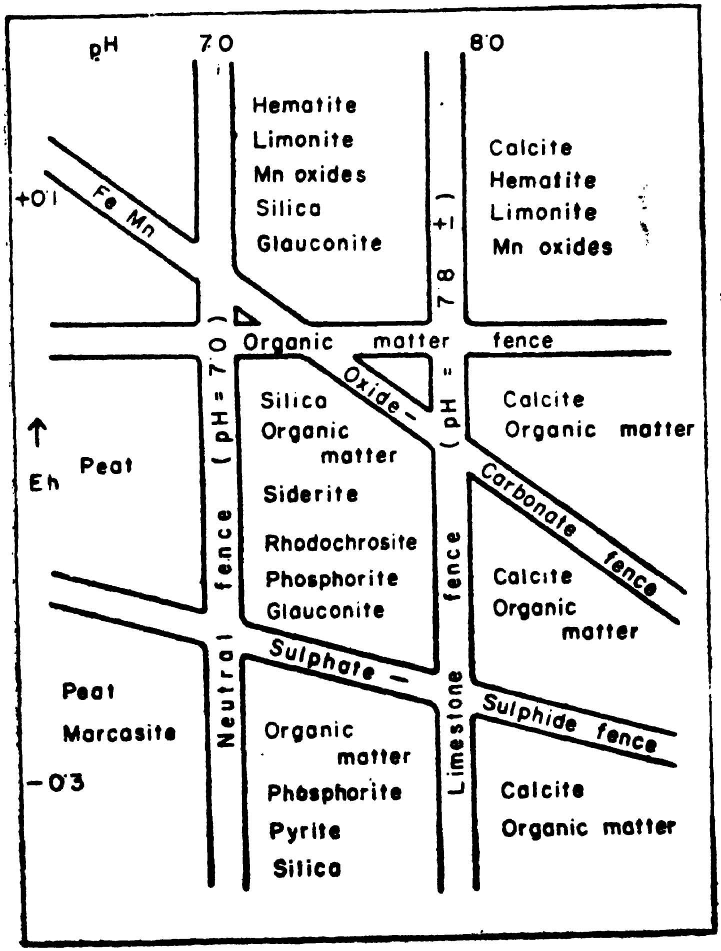
হাইড্রোজেন এ্যাটম থেকে একটি ইলেকট্রন অপসারণ করাকে বলা যায় হাইড্রোজেনকে হাইড্রোজেন আয়নে অক্সিডাইজ করা।

$H_2 = 2H^+ + 2e$ (e=ইলেকট্রন)

কোন বিক্রিয়ার অক্সিডেশান পোটেনসিয়াল কত তা স্থির করতে হলে এই বিক্রিয়ার সঙ্গে তুলনামূলক ভাবে করা হয়। সেজন্য এই বিক্রিয়ার

অক্সিডেশান পোটেনশিয়ালকে 0·00 volt ধরা হয়েছে; এই পরিমাপকে Eh বলা হয়।

বহু পদার্থের অক্সিডেশান পোটেনশিয়াল অর্থাৎ Eh ঐ পদার্থে হাইড্রোজেন-আয়ন কনসেনট্রেশানের অর্থাৎ pH-এর উপর নির্ভর করে। এরা পাললিক পদার্থের অধঃক্ষেপনের উপর বেশ গুরুত্বপূর্ণ প্রভাব বিস্তার করে। এজন্য পলি অধঃক্ষেপনের বিভিন্ন অবস্থাকে কতগুলি বিশেষগুরুত্বপূর্ণ Eh এবং pH বেড়া (Fence) দিয়ে বিভক্ত করা হয় (ছবি—81)।



চিত্র 81

পাললিক পরিবেশের pH—Eh অনুযায়ী ভূ-রাসায়নিক বেড়া।

(W. C. Krumbein & R. Garrels, 1952 অনুসারে)।

pH=7 নিউট্রাল ফেন্স এবং pH=7·8 চুনাপাথরের ফেন্স বিশেষ দরকারী। কারণ pH 7·8 এর বেশী হলে ক্যালসাইট অবক্ষেপণ হবে, এবং 7·8 এর কম হলে ক্যালসাইট দ্রবীভূত হবে।

অক্সিডেশান ফেন্সগুলি হোল সালফাইড-সালফেট ফেন্স এবং Fe^{++} এবং Mn^{++} অক্সাইড-কার্বনেট ফেন্স এবং জৈব পদার্থের ফেন্স।

প্রস্তরীভবনের বিভিন্ন প্রক্রিয়া

লিথিফিকেশান (Lithification) : প্রথমে অবক্ষেপণের পর পলির উপর যে সব জটিল পদ্ধতি কাজ করে এবং পলিকে পাথরে পরিণত করে তাদের লিথিফিকেশান (lithification) বলে। পলি অবক্ষেপণ হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে লিথিফিকেশান আরম্ভ হতে পারে, বা তার কিছু পরে অথবা বহুকাল পরে লিথিফিকেশান হতে পারে।

ডায়াজেনেসিস (Diagenesis) : পলির মধ্যে এক খনিজের সঙ্গে অন্য খনিজের অথবা কয়েকটি খনিজের সঙ্গে দানাগুলির মধ্যবর্তী ফাঁকের মধ্যস্থ অথবা উপরের মাধ্যমের ফ্লুইডের (প্রধানতঃ জলের) সঙ্গে যে বিক্রিয়া হয় তাকে ডায়াজেনেসিস বলে।

পলির সঞ্চয় হলে তার মধ্যে যে সব পদার্থ থাকে তাদের মধ্যে রাসায়নিক সাম্য (equilibrium) না থাকতে পারে। এজন্য অবস্থা অনুকূল হলে—যেমন তাপাঙ্ক বাড়লে এবং ফ্লুইড মাধ্যমের প্রকৃতিও—সাহায্য করলে, এই সব পদার্থের মধ্যে বিক্রিয়া হতে পারে। যদি এই বিক্রিয়া নিম্ন তাপাঙ্ক ও চাপে হয় তাহলে ডায়াজেনেটিক বলা হবে আর বেশী তাপাঙ্ক ও চাপে হলে এই বিক্রিয়াকে মেটামর্ফিক বলা হয়। বস্তুতপক্ষে ডায়াজেনেসিস হোল মেটামর্ফিজমের আরম্ভ, কারণ এর ফলে পলির মধ্যে খনিজের, সংযুতির ও গঠনের পরিবর্তন ঘটে।

ডায়াজেনেসিস প্রধানতঃ দুই ভাগে ভাগ করা যায়—(1) যখন সমুদ্রের জলের তলায় পলি সঞ্চিত থাকে তখন যে ডায়াজেনেসিস হয় তাকে বলা হয় halmyrolysis।

(2) যে সব পরিবর্তন ঐ অঞ্চলের উত্তোলন (uplift) বা কিছু কঠিন হওয়ার পরে ঘটে, তাহলে তাকে epigenesis (বা metharmosis) বলা হয়।

ডায়াজেনেটিক-বিক্রিয়ার সাক্ষ্যস্বরূপ আমরা উল্লেখ করতে পারি পুনর্কেলাসন, প্রতিস্থাপন, পুরানো কেলাসের গায়ে নতুন অংশের সংযোজন (overgrouth) নব-কেলাসনের ফলে বড়দানা তৈরী হওয়া (porhyroblastic-growth), খনিজ পদার্থের এক এক জায়গায় জড়ো হওয়া (segregation) ইত্যাদি।

দ্রবণ, অধঃক্ষেপণ, কেলাসন, পুনর্কেলাসন, অক্সিডেশান, রিডাক্-শান ইত্যাদি সাধারণ রাসায়নিক পদ্ধতিতেই পরিবর্তন হয়ে ডায়াজেনেসিস হয়। ডায়াজেনেসিসের ফলে এইগুলি ঘটে:—

সিমেণ্টেশান (cementation), ডায়াজেনেসিসের জন্য পদার্থে নবসংযোজন (reorganization) বা authigenesis, ডায়াজেনেটিক ডিফারেন্সিয়েশান ও মেটাসোমাটিসম্, অন্তঃস্তর দ্রবণ (interstratal solution) ও কমপ্যাক্শান (compaction)।

(1) সিমেণ্টেশান (cementation)—ক্লাস্টিক পলির দানার ফাঁকে খনিজ পদার্থের অধঃক্ষেপণের পদ্ধতিকে সিমেণ্টেশান বলে; এর ফলে পাথর কঠিনতা লাভ করে। স্যাণ্ডস্টোন বা কংগ্লোমারেট এইভাবে বালি ও নুড়ি থেকে কঠিন পাথরে পরিণত হয়।

(2) ডায়াজেনেটিক নবসংযোজন বা অথিজেনেসিস্—এই পদ্ধতিতে পলির মধ্যে কর্করীয় পদার্থও রাসায়নিক পদার্থের মধ্যে বিক্রিয়ার ফলে নতুন খনিজ তৈরী হয় (যাকে বলা হয় authigenic mineral), অথবা যে খনিজ উপস্থিত আছে তার উপর নূতন অংশ জমে (overgrowth) বা তার বৃদ্ধি (enlargement) হয়।

(3) ডায়াজেনেটিক ডিফারেন্সিয়েশান পদ্ধতিতে পলির মধ্যের পদার্থ নতুন ভাবে পুনরায় বিভক্ত হয় তার ফলে সামান্য পরিমাণে আছে এরকম উপাদান ও দলাকার পদার্থ যেমন নডিউল, কন্ক্রিশান বা ঐ ধরণের আকারের পদার্থ তৈরী করতে পারে।

(4) ডায়াজেনেটিক মেটাসোম্যাটিজম্-এর ফলে পলির বাহিরে থেকে পদার্থ প্রবেশ করে এবং পলির স্তরের আয়তনের পরিবর্তন না করে তাকে প্রতিস্থাপন (replacement) করে।

(5) অন্তঃস্তর দ্রবণ প্রায় সব ডায়াজেনেটিক পদ্ধতিতে কাজে লাগে। তবে স্টাইলোলাইট জাতীয় গঠন তৈরীতে এই পদ্ধতি খুব ভাল ভাবে বোঝা যায়।

ত্রয়োদশ অধ্যায়

রূপান্তরিত পাথর (Metamorphic Rocks)

ভূমিকা

ভূত্বকে চাপ, তাপ ও রাসায়নিক বিবর্তনে পাথরের যে পরিবর্তন হয় সেই প্রক্রিয়াকে পাথরের রূপান্তর (Metamorphism) বলা হয়। ভূপৃষ্ঠের কাছে পাথরের আবহবিকার, সিমেণ্টেশান বা অনুরূপ কতগুলি পরিবর্তন রূপান্তরের মধ্যে ধরা হয় না। উচ্চতাপাঙ্কে পাথরের আংশিক গলিত হওয়ার ফলে (প্লুটোনিক পদ্ধতিতে) যে সব পরিবর্তন হয় সেগুলিও এই রূপান্তরের মধ্যে পড়ে না।

রূপান্তর হওয়ার সময় পাথরগুলি কঠিন অবস্থাতেই থাকে এবং এই কারণে তাদের মধ্যে আদি পাথরের প্রাথমিক গঠনগুলি (primary, structures) স্পষ্ট অথবা অস্পষ্টভাবে থেকে যায়। রূপান্তরিত পাথরের গ্রথন ও গঠনগুলি তাই আংশিকভাবে আদি পাথরের বৈশিষ্ট্যের উপর এবং আংশিকভাবে রূপান্তরের নিজস্ব অবস্থার উপর নির্ভর করে।

কোন পাথর নতুন পরিবেশের প্রভাবে এলে তার সাম্য (equilibrium) অবস্থা ফিরে পেতে চায়, এজন্য রূপান্তরিত হওয়ার পরিবর্তনগুলি হয়।

কোনস্থানে পাললিক পাথরের স্তরের মধ্যে ব্যাসল্ট পাথর থাকতে পারে। পাললিক পাথর ভূপৃষ্ঠে কম তাপাঙ্ক (যেমন 25° সেঃ) ও চাপে সৃষ্টি হয়—এর মধ্যে থাকে প্রচুর ক্লে খনিজ, কিন্তু ব্যাসল্টের খনিজগুলি, যেমন অলিভিন, ল্যাব্রাডোরাইট, আগাইট, উচ্চ তাপাঙ্কে (যেমন 1000° সেঃ) কেলাসিত হয়েছিল। পাললিক পাথরের খনিজ ও ব্যাসল্টের খনিজ পরিবর্তিত তাপাঙ্ক ও চাপে রূপান্তরের সময় অসাম্য অবস্থায় পড়বে। এইরূপ অবস্থাতেই পাথরের রূপান্তর হয়। রূপান্তরিত হওয়ার ফলে পাথরের খনিজ উপাদানগুলি বদলে গিয়ে যেসব নতুন খনিজ তৈরী হয় তারা ঐ নতুন পরিবেশে আরও বেশী স্থায়ী হয়। এই খনিজগুলি তখন যে নতুন গঠন তৈরী করে, সেই গঠনও নতুন পরিবেশে আরও বেশী উপযোগী।

পাথর রূপান্তরিত হওয়ার কারণ

পাথরকে রূপান্তরিত করার প্রধান তিনটি কার্যকারী শক্তি আছে ঃ (1) তাপমাত্রা, (2) চাপ ও (3) রাসায়নিক প্রভাব।

(1) তাপাঙ্কের (temperature) পরিবর্তন চাপের পরিবর্তনের থেকে পাথরকে রূপান্তরিত করতে বেশী সক্ষম। যেমন কাদাপাথরে তাপাঙ্কের কয়েক ডিগ্রী পরিবর্তন হলে খুব বেশী খনিজ সংযুতির পরিবর্তন দেখা যায়, কিন্তু চাপের পরিবর্তন কয়েক হাজার এট্‌মসফিয়ার হলেও ঐ পাথর সামান্যই রূপান্তরিত হতে পারে। এমনকি গভীর ছিদ্রকূপ (drill hole) খনন করে দেখা গেছে যে বহুকাল গভীরভাবে চাপা পড়ে আছে এমন পাললিক পাথরেও কোন রূপান্তর ঘটেনি। খুব কম তাপাঙ্কে যেমন 100—200° সেঃ পাথরগুলি কোন রকম রূপান্তরিত না হয়ে অসাম্য অবস্থায় থেকে যেতে পারে, কারণ ঐ রকম তাপাঙ্কে বিক্রিয়ার বেগ (rate of reaction) খুব কম। এই কারণে আমরা উচ্চ তাপাঙ্কে কেলাসিত খনিজ, যেমন অলিভিন বা হীরককে ভূপৃষ্ঠের নীচু তাপাঙ্কে অপরিবর্তিত অবস্থায় দেখতে পাই। তাপাঙ্ক বাড়লে বিক্রিয়া সত্বর হতে পারে এবং নতুন খনিজ তৈরী হয়। তাপাঙ্ক আরও বাড়লে (যেমন 700° সেঃ) কোনও কোনও উপাদান গলিত হতে আরম্ভ করায় ক্রমে রূপান্তরিত পাথরের ক্ষেত্র অতিক্রম করে আগ্নেয় পাথরের ক্ষেত্রে প্রবেশ করতে হয়। একটি নির্দিষ্ট উপাদানযুক্ত পাথরে যদি তাপাঙ্ক ক্রমাগত বাড়তে থাকে তাহলে বিভিন্ন খনিজ সাম্য অবস্থায় পরপর তৈরী হতে থাকবে। এই রকম পাথরের খনিজ উপাদান থেকে রূপান্তরিত হওয়ায় তাপাঙ্ক সম্বন্ধে ধারণা করা যেতে পারে।

অনেক ক্ষেত্রে দেখা যায় যে ঐরকম বিভিন্ন তাপাঙ্কে তৈরী খনিজযুক্ত পাথরগুলি এক একটি বলয়ের (zone) মত এলাকা নির্দেশ করছে। এ থেকে বোঝা যায় যে ঐ অঞ্চলে রূপান্তরিত হওয়ার সময় তাপাঙ্কের একটি ক্রমোচ্চতা (thermal gradient) ছিল। এই রকম বিন্যাস থেকে মনে করা যেতে পারে যে রূপান্তর ক্রমশঃ অগ্রগামী (progressive metamorphism) ছিল। কিন্তু বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য যে এখানে শুধু বিভিন্ন তাপাঙ্কে তৈরী বলয়গুলির অবস্থানের উল্লেখ করেই ক্রমশঃ অগ্রগামী একথা বলা হয়েছে।

রূপান্তরিত হওয়ার কারণগুলি সর্বোচ্চ তীব্রতায় পৌঁছনর পর যখন তীব্রতা হ্রাস পেতে থাকে তখন আবার নীচু তাপাঙ্কের খনিজগুলি হতে পারে, তবে সাধারণতঃ দেখা যায় যে তারা আগে তৈরী খনিজগুলিকে সত্বর প্রতিস্থাপন করে না (অর্থাৎ তাপাঙ্ক কমে যাওয়ায় বিক্রিয়ার বেগও কমে যায়)। যখন তাপাঙ্ক কমতে থাকার সময় রূপান্তর ঘটে, অথবা অন্য উপায়ে উচ্চ তাপাঙ্কে তৈরী খনিজ নিম্ন

তাপাঙ্কে তৈরী খনিজ দিয়ে প্রতিস্থাপিত হয়, তখন এই রূপান্তরকে পশ্চাৎগামী রূপান্তর (retrogressive metamorphism) বলা হয়।

পাথরকে রূপান্তরিত করার মত তাপ কোথা থেকে ও কিভাবে আসে? (ক) প্রথমতঃ স্মরণ রাখা দরকার যে ভূত্বকে সর্বত্র গভীরতার সঙ্গে তাপাঙ্ক বাড়তে থাকে। এই তাপাঙ্কের ক্রমোচ্চতা (thermal gradient) অবস্থান বৈশিষ্ট্য অনুসারে এক এক অঞ্চলে এক এক রকম হয়। বেশী প্রাচীন নয় এমন "জীওসিনক্লাইনাল" অঞ্চলে তাপ প্রবাহের পরিমাপ (heat flow measurements) থেকে দেখা গেছে যে তাপাঙ্কের ক্রমোচ্চতা প্রতি কিঃমিঃ গভীরতার জন্য 15—25° সেঃ বাড়ে: কিন্তু স্থায়ী শিল্ড এলাকায় (stable shield areas) মাত্র 10° সেঃ বাড়ে।

যে অরোজেনিক অঞ্চলে (Orogenic region) পাথরের স্তর জটিল-ভাবে ভাঁজ হয়ে "জীওসিনক্লাইনাল" স্তূপ (pile) তৈরী করেছে সে রকম অঞ্চলে 20° সে/প্রতি কিঃ মিঃ—এই রকম তাপের ক্রমোচ্চতা ধরলে 35 কিঃ মিঃ গভীরতায় 700° সে তাপাঙ্ক হবে। এই গভীরভাবে প্রোথিত "জীওসিনক্লাইনে" উচ্চ তাপাঙ্কে রূপান্তরিত পাথর তৈরী হবে ও আংশিকভাবে গলিত হয়ে গ্রানাইটের মত ম্যাগমার সৃষ্টি হবে। এইভাবে তৈরী গ্রানাইট ম্যাগমা উপরদিকে উঠে সেই অঞ্চলে তাপমাত্রা বৃদ্ধি করবে ও তাপের ক্রমোচ্চতাও বেশী হবে। (খ) ভূত্বকের মধ্যে তেজস্ক্রিয়তাযুক্ত পটাশিয়াম (K), ইউরেনিয়াম (U), ও থোরিয়াম (Th) থাকায় ক্রমাগত ঐ মৌলিক পদার্থগুলি থেকে স্বতঃস্ফূর্ত তাপ উৎপাদন হয়. এজন্য সিয়ালিক (sialic) অঞ্চলে তাপের ক্রমোচ্চতা বাড়িয়ে দেয়। (গ) পৃথিবীর মাণ্ট্লের কোনও কোনও অঞ্চলে [যেমন দক্ষিণ ও উত্তর আমেরিকার পশ্চিম দিকে প্রশান্ত মহাসাগরে অবস্থিত ইস্ট প্যাসিফিক রাইজের নীচের মাণ্ট্ল] বেশী তাপ প্রবাহ পরিমাপ করা হয়েছে। এই রাইজ যেখানে মহাদেশের তলায় চলে গেছে, ক্যালিফর্নিয়ার Salton sea এলাকাতে সেই অঞ্চলে বেশী তাপ প্রবাহ দেখা যায়। বর্তমানে পৃথিবীতে মেটামর্ফিজম হচ্ছে একথা প্রমাণিত হয়েছে একটি স্থানে সেইটি হল ঐ Salton sea ভূতাপ (geothermal) এলাকাতে। এইজন্য কোন কোন বৈজ্ঞানিক পাথরের রূপান্তরিত হওয়ার কারণ হিসাবে মাণ্ট্ল থেকে বেশী তাপ প্রবাহকে দায়ী করেছেন। (ঘ) পাথরের একটি স্তরের উপর অন্য স্তর ঘষে যেতে থাকলে, তার ফলে তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। এজন্য যে এলাকাতে পাথরে thrusting বা shearing হচ্ছে সে এলাকাতে বেশী তাপমাত্রাযুক্ত অংশে উচ্চ তাপাঙ্কের খনিজ তৈরী হতে পারে।

(2) চাপ (Pressure) ঃ রূপান্তরিত হওয়ার সময় পাথরের উপর

যে চাপ থাকে তা প্রধানতঃ উপরের স্তরের ভারের জন্য; একে ভারের জন্য চাপ (load Pressure), অথবা লিথোস্টাটিক চাপ (lithostatic pressure) বলে। ভূত্বকের উপরের অংশে এই চাপের ক্রমোচ্চতা প্রতি কিঃ মিঃ গভীরতার জন্য 285 এট্‌মসফিয়ার। এই হিসাবে ভূত্বকের 20 কিঃ মিঃ গভীরতায় ভারের চাপ হবে প্রায় 6000 এট্‌মসফিয়ার। সাধারণতঃ এই চাপ 2000 থেকে 8000 এট্‌মসফিয়ারের মধ্যে থাকে।

পাথরের মধ্যে দানার ফাঁকে ও সূক্ষ্ম ছিদ্রগুলির মধ্যে জল বা ফ্লুইড থাকতে পারে। সেই ক্ষেত্রে জলের চাপ ভারের (solid) জন্য চাপের সমান হতে পারে। বেশীরভাগ রূপান্তরের বিক্রিয়ায় জল নির্গত হয়, এজন্য জলের চাপ P_{H_2O} রূপান্তর হওয়ার তাপাঙ্কের উপর গুরুত্ব-পূর্ণ প্রভাব রাখে। কার্বনেট পাথরের রূপান্তরে P_{CO_2} বিশেষ গুরুত্ব-পূর্ণ হয়।

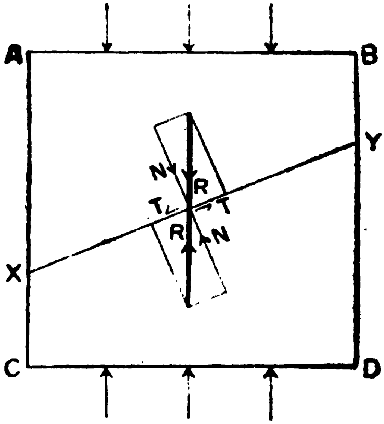
স্ট্রেস্ (Directed pressure or stress)—যে অঞ্চলে ভাঁজ, চ্যুতি বা থ্রাষ্ট হচেছ সেখানে চাপ শুধু ভারের জন্য অর্থাৎ Hydrostatic Pressure নয়। এই রকম অঞ্চলে পাথরের উপর শীয়ার স্ট্রেস্ (shear strees) কাজ করে তার ফলে পাথর চূর্ণ হয়ে গেলে তাকে বিচূর্ণন বা ক্যাটাক্লাসিস্ (cataclasis) বলে। পাথরের মধ্যে ফ্লুইড থাকলে উচ্চ তাপাঙ্কের এই রকম cataclasis রূপান্তরে বিশেষ কার্যকরী হয়। এভাবে যে খনিজ প্রস্তর হয় তাদের টেক্সচারের উপর বিশেষ প্রভাব থাকে. যেমন দানাগুলি বিশেষভাবে দিক-নির্দিষ্ট (oriented) হয়ে যেতে পারে। এইভাবে সজ্জিত দানাযুক্ত পাথরকে টেকটনাইট (tectonite) বলে।

পাথরের রূপান্তরে স্ট্রেসের প্রভাব—একটি অবয়বের উপর বল প্রয়োগ করলে ঐ বলের জন্য অবয়বের ভিতর প্রতিরোধকারী বিপরীত বল অর্থাৎ পীড়ন (stress) সৃষ্টি হয়। পীড়নের প্রভাবে থাকার জন্য অবয়বের আয়তন ও আকারের যে পরিবর্তন হয় তাকে বলা হয় স্ট্রেন (strain)।

স্ট্রেসের তীব্রতা কম থাকলে বাহিরের বল প্রয়োগ বন্ধ হলেই অবয়বটি আগের আয়তন ও আকার ফিরে পায়। কিন্তু স্ট্রেসের তীব্রতা বেশী হলে বল প্রয়োগ থেমে গেলেও অবয়ব পূর্বতন আয়তন ও আকার ফিরে পায় না, অর্থাৎ এর স্থায়ী বিকৃতি (permanent deformation) ঘটে, যেমন বাঁকান লোহার রড। এই রকম অবস্থার কারণ স্ট্রেনযুক্ত অবয়বের মধ্যে plastic flow হয়।

বলের তীব্রতা আরও বেশী হলে প্লাস্টিক ফ্লোয়েজের সীমা ছাড়িয়ে যায়, তখন অবয়বটির মধ্যে বিভঙ্গের (fracture) উৎপত্তি হয়

ও তা ভঙ্গুর (brittle) হয়ে পড়ে। রূপান্তরের সময় পাথরগুলির মধ্যে এইভাবে নানা ধরণের বিকৃতি সৃষ্টি হয়, যেমন বিদারণ (joint), বিভঙ্গ (fracture), শিস্টশিটি (schistosity), খনিজ দানাগুলির বিচূর্ণন (granulation), টুইন-গ্লাইডিং (twin-gliding) ও ট্রান্স্লেশান গ্লাইডিং (translation gliding)। শেষোক্ত দুই প্রক্রিয়া পাথরের খনিজগুলির প্লাস্টিক ফ্লোয়েজ সৃষ্টি করে ও এইভাবে বিকৃতি ঘটায় (চিত্র 82 দ্রষ্টব্য)।



চিত্র 89 A

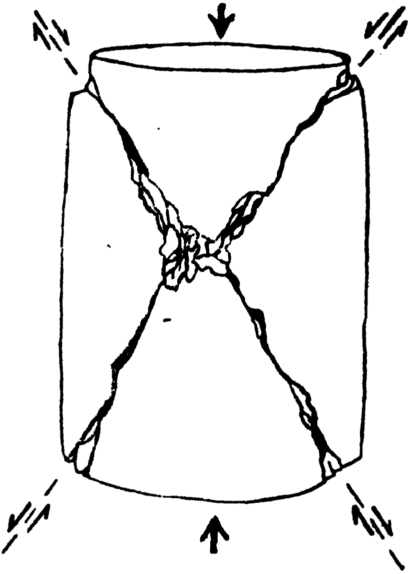
ABCD অবয়বের উপর চাপের ফলে XY সমতলে শীয়ার স্ট্রেসের উৎপত্তি।

একটি অবয়বে স্ট্রেস উৎপন্ন হলে ঐ অবয়বের মধ্যে যে কোনও সমতলের উপর ঐ স্ট্রেসকে দুইভাগে বিভাজন (resolved) করা যায়—

নরমাল স্ট্রেস—যা ঐ সমতলের উপর লম্বভাবে কার্যকরী থাকে, আর টান্জেন্সিয়াল স্ট্রেস্ বা শীয়ার স্ট্রেস—যা কার্যকরী থাকে ঐ সমতল বরাবর। উদাহরণ স্বরূপ ABCD এই অবয়বটি চাপের মধ্যে আছে (চিত্র 89A)। এর মধ্যে XY এই সমতলের একটি বিন্দুতে স্ট্রেস R কার্যকরী আছে। এই স্ট্রেসকে (1) XY সমতল বরাবর টানজেন্সিয়াল অথবা শীয়ার স্ট্রেস T, এবং (2) এই সমতলের উপর লম্ব দিকে কার্যকরী নরমাল স্ট্রেস N, এই দুই ভাগে করা যায়।

গবেষণাগারে পাথরের বিকৃতি সৃষ্টি করে পরীক্ষা-নিরিক্ষা করা যায়। মার্বল পাথরের একটি ছোট সিলিন্ডার কম্প্রেশান চাপে রাখলে তার বিকৃতি হয় এবং দুই অনুপূরক শীয়ার ফ্রাকচার সৃষ্টি হয়। এই ফ্রাকচার সমতল ধরে ঐ মার্বল পাথর চূর্ণ-বিচূর্ণ ও গুড়া হয়ে যায়। গবেষণাগারে কৃত্রিম উপায়ে সৃষ্ট উদাহরণ থেকে দেখা যায় যে শীয়ারিং

(shearing) হওয়ার ফলে পাথর কিভাবে বিকৃত হয়ে পড়ে (চিত্র 89B)। শীয়ার সমতলের দুই পাশের পদার্থ বিকৃতির সময় বিপরীত দিকে চলাচল করে। মনে রাখা দরকার যে ডাইরেকটেড প্রেসারকে আলাদাভাবে পরিমাপ করা হয় না, ভারের জন্য যে চাপ তার সঙ্গেই ধরা হয়।



চিত্র 89 B
মার্বল পাথরের ছোট সিলিণ্ডারের গবেষণাগারে চাপের ফলে বিকৃতি। দুই অনুপূরক শীয়ার ফ্রাকচারের সৃষ্টি লক্ষণীয়।

(3) **রূপান্তরে রাসায়নিক উপাদানের কার্যকরীতা** (Influence of chemical constituents) :

রূপান্তর হওয়ার সময় পাথরের রাসায়নিক উপাদানের পরিবর্তন না হলে সেই রূপান্তরকে আইসোকেমিক্যাল রূপান্তর (isochemical metamorphism) বলে। আগে বলা হয়েছে যে পাথরের দানার মধ্যবর্তী সূক্ষ্ম খালি জায়গায় জল বা ফ্লুইড থাকতে পারে। রূপান্তরের সময় এই ফ্লুইড খনিজগুলির পুনরায় কেলাসন বা তাদের মধ্যে বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে। তাই রূপান্তরে জলের প্রভাব খুব বেশী। জলের মাধ্যমে অনান্য দ্রবীভূত পদার্থের ব্যাপন (diffusion)-এর জন্য এক জায়গা থেকে অন্য জায়গায় পাথরে ঢুকতে পারে। এরকম হলে রূপান্তর আর আইসোকেমিক্যাল থাকে না এই প্রক্রিয়াকে বলা

হয় মেটাসোমাটিক মেটামরফিজম (metasomatic metamorphism বা metasomatism)। কোন কোন অঞ্চলে রূপান্তরিত হওয়ার সময় নিকটবর্তী আগ্নেয় অবয়বের থেকে রাসায়নিক উপাদানের অনুপ্রবেশ হতে পারে। যেমন রূপান্তরিত পাথরের মধ্যে বেশী টুরম্যালিন তৈরী হতে পারে, যদি নিকটবর্তী গ্রানাইট ম্যাগমার কেলাসনের সময় Boron নির্গত হয়ে রূপান্তরিত পাথরে অনুপ্রবেশ করে। অনুরূপ ভাবে Na, K, Ca, Fe, Mg, Si, F, Cl, S রূপান্তরিত পাথরে অনুপ্রবেশ করে অনেক রাসায়নিক পরিবর্তন করতে পারে।

কোনও স্থানে রূপান্তর একবার হওয়ার পর পুনরায় রূপান্তর হতে পারে, এই সময় চাপ ও তাপাঙ্ক প্রথমবার রূপান্তরিত হওয়ার সময় যেমন ছিল তার থেকে বিভিন্ন হওয়া স্বাভাবিক। এইরূপ হলে প্রথমে সৃষ্ট রূপান্তরিত খনিজগুলি আংশিকভাবে পরিবর্তিত হয়ে যায় ও নতুন নতুন খনিজ দ্বিতীয় রূপান্তরের চাপ ও তাপাঙ্কের সঙ্গে সাম্য অবস্থায় সৃষ্টি হয়। এইরূপ রূপান্তরকে বহু-রূপান্তর (Polymetamorphism) বলা হয়। পশ্চাৎগামী রূপান্তর (Retrogressive metamorphism) বহু রূপান্তরের একটি উদাহরণ।

প্রধানতঃ তিন প্রকার রূপান্তরিত পাথর আছে ঃ

(1) উত্তপ্ত আগ্নেয় অবয়ব স্থানীয় পাথরের মধ্যে প্রবেশ করলে ঐ অবয়বের চারধারে পাথর তাপে রূপান্তরিত হয় (thermal metamorphism)। রূপান্তরিত হওয়ায় যে সব খনিজ তৈরী হয়, তাদের মধ্যে উচ্চ তাপাঙ্কে তৈরী খনিজ আগ্নেয় অবয়বের সব চেয়ে কাছে থাকে। তাই এই রকম রূপান্তরকে সংস্পর্শ রূপান্তর (contact metamorphism) বলে।

(2) পাথরের মধ্যে চ্যুতি তৈরী হলে যদি তার দুই পাশের পাথর বেশী চাপে চলাচল করে, তাহলে চ্যুতির ধারের পাথর চূর্ণ হয়ে যায়, বা তার মধ্যে প্রচণ্ড চাপের সঙ্গে ঘর্ষনের চিহ্ন দেখা যায়। এই রকম ভাবে পরিবর্তিত পাথরকে বিচূর্ণন রূপান্তর (cataclastic metamorphism) বলে। (একে dislocation metamorphism বা kinematic metamorphism-ও বলা হয়েছে।)

(3) ভাঁজযুক্ত পার্বত্য এলাকাতে (orogenic belts), বিশেষতঃ প্রিক্যাম্ব্রিয়ান অঞ্চলে, বহুশত বর্গ কিঃ মিঃ এলাকা জুড়ে রূপান্তরিত পাথর দেখা যায়, এই রূপান্তরের জন্য স্থানীয় কোনও কারণ (যেমন আগ্নেয় অবয়বের সংস্পর্শ ইত্যাদি) দেখা যায়না। সুতরাং এই

রূপান্তরকে আঞ্চলিক রূপান্তর (Regional metamorphism) বলা হয়। এইরকম রূপান্তরিত পাথর বিশাল এলাকা জুড়ে তাপ ও চাপের ফলে হয়ে থাকে এজন্য এই রূপান্তরকে dynamothermal metamorphism বলা যায় (dynamo=dynamic)। এইভাবে রূপান্তরিত বিশাল অঞ্চলে একদিক থেকে অন্যদিকের পাথরের খনিজগুলি থেকে তাপমাত্রার ক্রমোচ্চতা সম্বন্ধে ধারণা করা যায়। কাদা পাথর থেকে তৈরী হয়ে যে পাথর তৈরী হয়—তারমধ্যে ক্লোরাইট, বায়োটাইট, গার্নেট, কায়ানাইট ও সিলিম্যানাইট খনিজগুলি তাপের ক্রমোচ্চতার খুব সুন্দর নির্দেশক-খনিজ (index minerals)। সবচেয়ে নীচু তাপাঙ্কযুক্ত এলাকাতে ক্লোরাইট ও উঁচু তাপাঙ্কযুক্ত এলাকাতে সিলিম্যানাইট থাকে।

এইরকম রূপান্তরে গভীর অঞ্চলে তাপ ও চারদিকে সমানভাবে কার্যকরী চাপ (uniform pressure বা hydrostatic pressure) পাথরগুলিকে সমাকৃতি দানায় তৈরী (evenly granular) পাথরে রূপান্তর করে। চারদিক থেকে চাপ অত্যধিক হওয়ায় বেশী আপেক্ষিক গুরুত্বযুক্ত খনিজ (যেমন পাইরোপ গার্নেট) এই পাথরের বৈশিষ্ট্য। গ্রানুলাইটজাতীয় পাথর এর উদাহরণ। এই রূপান্তরকে প্লুটনিক রূপান্তর (plutonic metamorphism) বলে।

গভীর অঞ্চলে অনেক ক্ষেত্রে পাথরগুলি আংশিকভাবে গলিত হতে পারে ও ঐ পদার্থ বা অন্য উৎস থেকে আসা ঐ ধরণের পদার্থ পাথরের ফোলিয়েশান সমতল দিয়ে অনুপ্রবেশ করতে পারে ও পাথরের খনিজকে প্রতিস্থাপন করতে পারে। এইভাবে ইঞ্জেকশান নাইস্ (injection gneiss) ও মিগমাটাইট্ (migmatite) তৈরী হয়। পাথরের আংশিকভাবে গলিত হওয়াকে বলা হয় এনাটেক্সিস্ (anatexis)। এইভাবে তৈরী নতুন ম্যাগমা সৃষ্টি হওয়াকে প্যাল্‌ইনজেনেসিস্ (palingenesis) বলা হয়। যে অঞ্চলে আঞ্চলিক রূপান্তরের সংগে নাইস পাথরে এনাটেক্সিস হচ্ছে ও পাথরগুলির মধ্যে উপাদানের পরস্পর আদান প্রদান হচ্ছে, সেখানে গ্রানাইটের মত উপাদান বিশিষ্ট পাথর সচরাচর তৈরী হয় ; এই পদ্ধতিকে বলা হয় গ্রানাইটিজেশান (granitization)।

রূপান্তরিত পাথরের শ্রেণীবিভাগ ও প্রাথমিক বিবরণ।

রূপান্তরিত পাথরের গ্রথন অথবা খনিজ উপাদান অনুসারে শ্রেণীবিভাগ করা যায়। খনিজ ও রূপান্তরের ফেসিস এর উপর নির্ভরশীল শ্রেণীবিভাগ করতে অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে পরীক্ষা করা অনেক সময় প্রয়োজন হয়।

খনিজ অনুসারে ও গ্রথন অনুসারে শ্রেণীবিভাগ করার সময় যে পাথরগুলি একই শ্রেণীতে পড়ে তাদের আদি পাথরও একই ধরণের ছিল এবং তাদের রূপান্তরিত হওয়ার সময় মোটমাট একই ধরণের প্রক্রিয়ার মধ্যে দিয়ে তারা রূপান্তরিত হয়েছে। তবে মনে রাখা দরকার যে রূপান্তরিত পাথরের ক্ষেত্রে বিভিন্ন প্রকার আদি পাথর থেকে একই খনিজ তৈরী হতে পারে।

(ক) রূপান্তরিত পাথরের প্রধান গ্রথন অনুসারে শ্রেণীবিভাগ :

হর্নফেলস (Hornfels)—এই পাথরগুলিতে শিস্টসিটি নেই এবং সমাকৃতিযুক্ত দানাগুলি কোনও রকম দিক-নির্দিষ্টতা (orientation) দেখায় না দ্রাঘিত দানাগুলি যে কোনও দিকে লম্বিত থাকতে পারে এবং গ্রানোব্লাস্টিক বা হর্নফেলসিক গ্রথন তৈরী করে। এই পাথর সংস্পর্শ বা উত্তাপজনিত রূপান্তরের ফলে তৈরী।

স্লেট (Slate)—সূক্ষ্মদানাযুক্ত রূপান্তরিত পাথর; এর মধ্যে সমতলযুক্ত শিস্টসিটি ("স্লেটি ক্লিভেজ") দেখা যায়। খনিজগুলি খালি চোখে দেখা যায় না।

ফিলাইট (Phyllite)—স্লেটের থেকে বেশী রূপান্তরিত পাথর। এই পাথরে শিস্টসিটির উপরিভাগে চাকচিক্য দেখা যায় কারণ অভ্র ও ক্লোরাইট পাতলা কেলাস তৈরী করে। এই পাথরে খনিজের দানা স্লেটের দানার থেকে বড়।

শিস্ট্ (Schist)—এই পাথরে পত্রায়ন (foliation) বা শিস্টতা (schistosity) খুব পরিষ্কার দেখা যায় এবং পাথরগুলিতে রেখায়ন (lineation) থাকতে পারে। এই পাথর স্লেট বা ফিলাইটের থেকে বড় দানাযুক্ত। এক এক স্তরে অভ্র ও তার পরবর্তী স্তরে কোয়ার্টজ বা ফেলসপারের দানা বেশী থাকায় ল্যামিনেশান দেখা যায়—এইভাবে পত্রায়ন প্রাধান্যলাভ করে।

নাইস (Gneiss)—এই পাথরে পত্রায়ন বেশী জোরালো দেখা যায় কারণ এর মধ্যে অনেক ক্ষেত্রে কোয়ার্টজ ও ফেলস্পার সমৃদ্ধ পাত (layer) প্রায় সমান্তরালভাবে থাকে ও এইগুলির মাঝের স্তরে ম্যাফিক খনিজ বেশী থাকতে পারে।

এমফিবোলাইট (Amphibolite)—এই পাথর প্রধানত হর্নব্লেন্ড ও প্লাগীওক্লেস দিয়ে তৈরী। এর পত্রায়ন শিস্ট পাথরের মত ভাল হয় না দানাগুলি মাঝারী থেকে বড় হতে পারে।

গ্রানুলাইট (Granulite)—একটি সমাকৃতি দানাযুক্ত (even-grained) রূপান্তরিত পাথর। এর মধ্যে অভ্র (muscovite), বায়োটাইট,

এমফিবোলের অভাব থাকে, এজন্য শিস্টতা থাকে না। কোয়ার্টজ বা ফেলসপার চেপ্টা লেন্স তৈরী করতে পারে যার জন্য পাথর ফোলিয়েশানযুক্ত হতে পারে। গ্রানুলাইট পাথর আঞ্চলিক রূপান্তরের সবচেয়ে বেশী মাত্রা (grade) নির্দেশ করে।

মার্বল (Marble)—এটি ক্যালসাইট বা ডলোমাইট খনিজে তৈরী রূপান্তরিত পাথর। এই পাথরে যদি শিস্টতা থাকে তা বেশী জোরালো হয় না। কার্বনেট খনিজের কেলাসগুলি লেন্সের মত চেপ্টা থাকায় ও ট্রেমোলাইট বা মাইকা থাকায় এই শিস্টতা দেখা যেতে পারে।

মাইলনাইট (Mylonite)—এই পাথর আদি পাথরের দানা চূর্ণ হয়ে যাওয়ার ফলে তৈরী এবং খুব সূক্ষ্ম দানাযুক্ত। এর মধ্যে ফ্লিন্টের (flint) মত দেখতে, অথবা ব্যাণ্ডেড গঠন থাকে ও মাঝে মাঝে আদি পাথরের অংশ গুড়া না হয়ে কেলাসের মত থাকতে পারে। এই পাথর একস্তরের উপর অন্য স্তরের ঘর্ষনের (shear stress) ফলে তৈরী হয়।

(খ) রূপান্তরিত পাথরের রাসায়নিক শ্রেণী বিভাগ

উপরে যে শ্রেণীবিভাগ দেওয়া হয়েছে তার মূলে আছে পাথরের গ্রথন। এই শ্রেণীগুলির প্রত্যেকটির মধ্যে বিভিন্ন খনিজযুক্ত, বিভিন্ন রাসায়নিক সংযুতিযুক্ত রূপান্তরের ফেসিসের পাথর ধরা যেতে পারে। এজন্য প্রধান 5টি রাসায়নিক শ্রেণীতে ভাগ করা যায় ঃ

(1) পেলিটিক (কর্দম জাতীয়) পলি থেকে তৈরী (এলুমিনাস) —যেমন কাদা, শেল, কাদা পাথর।

(2) কোয়ার্টজ—ফেলসপারযুক্ত পাথর থেকে তৈরী—যেমন বালি পাথর, এসিড আগ্নেয় পাথর।

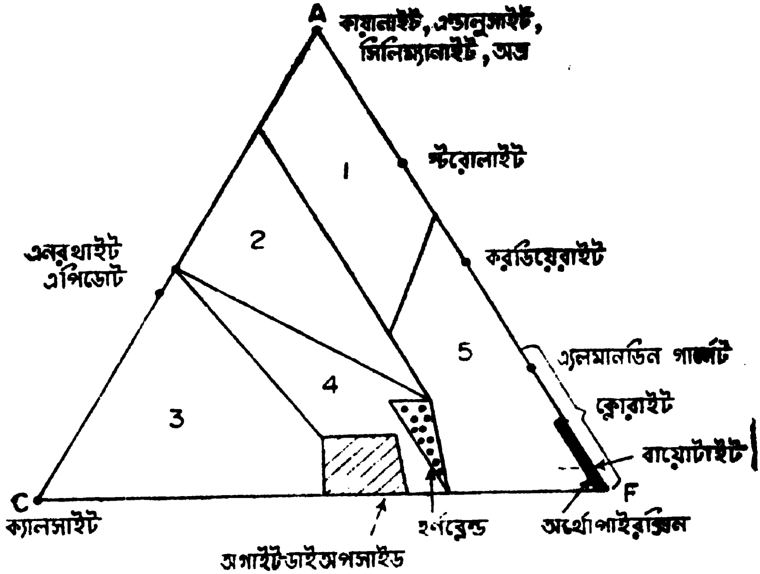
(3) চুনযুক্ত (ক্যালকেরিয়াস) পলি থেকে তৈরী—যেমন চুনা-পাথর, ডলোমাইট ; এদের মধ্যে কোয়ার্টজ এবং ক্লে-খনিজ ভেজাল হিসাবে থাকতে পারে।

(4) বেসিক বা প্রায়-বেসিক আগ্নেয় পাথর, টাফ্ (tuff) এবং কাদাযুক্ত মার্ল জাতীয় পলি (যার মধ্যে যথেষ্ট Ca, Al, Mg এবং Fe আছে)।

(5) ম্যাগনেশিয়ান (Magnesian) পাথর—সারপেণ্টিন পাথর, ক্লোরাইটযুক্ত পাথর ও Mg বা Fe সমৃদ্ধ পলি।

এই শ্রেণীগুলিকে সরলভাষায় পাঁচটি নামে ভাগ করা যায় (1) পেলিটিক, (2) কোয়ার্টজো-ফেলসপাথিক, (3) ক্যালকেরিয়াস, (4) বেসিক, (5) ম্যাগনেশিয়ান।

প্রধান 5 শ্রেণীর পাথরের উপাদান চিত্র—90 তে দেখান হয়েছে। এই ছবিতে রাসায়নিক উপাদানগুলির মলিকিউলের শতকরা ভাগ অনুসারে ACF ত্রিভুজে বসান হয়েছে। $A=Al_2O_3+Fe_2O_3$ (এই



চিত্র 90

ACF ত্রিভুজে প্রধান 5 শ্রেণীর পাথরের উপাদান। রাসায়নিক উপাদান মলিকিউলের শতকরা ভাগ অনুসারে বসান হয়েছে। প্রধান খনিজগুলির অবস্থান দ্রষ্টব্য।

$A=Al_2O_3+Fe_2O_3$ [এই পরিমাণ থেকে ঐ পাথরের Na_2O+K_2O থাকায় এলক্যালী ফেলসপারের সঙ্গে যত Al_2O_3 যুক্ত থাকে তার পরিমাণ বিয়োগ করা হয়েছে]; $C=CaO$; $F=MgO+FeO+MnO$.

পরিমাণ থেকে ঐ পাথরের Na_2O+K_2O থাকায় এ্যালকালী ফেলসপারের সঙ্গে যত Al_2O_3 যুক্ত থাকে তার পরিমাণ বিয়োগ করে ধরা হয়েছে)। $C=CaO$ এবং $F=MgO+FeO+MnO$।

রূপান্তরিত পাথরের খনিজ

রূপান্তরিত পাথরের খনিজগুলির স্থায়ীত্বের ক্ষেত্র (stability field) বেশী বড় হওয়ার ফলে বহু খনিজ কম থেকে বেশী মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরের মধ্যে থাকতে পারে। কোন কোন খনিজ শুধু কম মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরে থাকে, সেই রকম ভাবে অপর কিছু খনিজ বেশী মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরে থাকে।

টেকটোসিলিকেট (Tektosilicate) গুলির মধ্যে কোয়ার্টজ রূপান্তরিত হওয়ার প্রায় সমস্ত অবস্থাতে তৈরী হতে পারে। ফেলসপারের মধ্যে পটাশ ফেলসপার ($KAlSi_3O_8$) সাধারণতঃ মাইক্রোক্লীন (Microcline) হিসাবে নীচু ও মধ্যম মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরে থাকে ও অর্থোক্লেস উঁচু মাথায় রূপান্তরিত পাথর যেমন সিলিম্যানাইট নাইস্-এর মধ্যে থাকে। এলবাইট ($NaAlSi_3O_8$) নীচু মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরে বিশেষ করে থাকে। রূপান্তরিত হওয়ার তাপাঙ্ক বাড়তে থাকলে প্লাগীওক্লেস ফেলসপারে এনরথাইট ($CaAl_2Si_2O_8$) অণু বেশী থাকতে পারে। খাঁটি এনরথাইট কিন্তু রূপান্তরিত পাথরে বিরল। আইনোসিলিকেট (Inosilicate) শ্রেণীর খনিজের মধ্যে এমফিবোল ও পাইরক্সিন রূপান্তরিত পাথরের মধ্যে বিশেষভাবে থাকে। নীচু ও মধ্যম মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরের এমফিবোল এবং মধ্যম ও উঁচু মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরে পাইরক্সিন পাওয়া যায়। এর কিছু ব্যতিক্রম হতে পারে, যেমন মার্বল জাতীয় পাথরে নীচু মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরে ডাইঅপসাইড এবং উঁচু মাত্রায় তৈরী গ্রানুলাইট পাথরে হর্ণব্লেন্ড থাকতে পারে।

ফাইলোসিলিকেট (Phyllosilicate), অর্থাৎ যে খনিজে স্তরে স্তরে বিন্যস্ত এ্যাটমিক গঠন থাকে, সেইগুলি রূপান্তরিত পাথরের বিশেষত্ব। নাইস, শিস্ট, ফিলাইট, স্লেট—এই জাতীয় পাথরে ফাইলো-সিলিকেটগুলির প্রাধান্য থাকে, এবং এদের জন্যই এই সব পাথরে ফোলিয়েশান বা পত্রায়ণ দেখা যায়। ক্লে-খনিজ, ইলাইট, অভ্র, বায়োটাইট, ক্লোরাইট এই শ্রেণীর খনিজ। অভ্র [Muscovite, $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$] উচ্চ তাপাঙ্কে তৈরী পাথরে বেশী Na কঠিন দ্রবণ হিসাবে গ্রহণ করতে পারে ও নীচু তাপাঙ্কের পাথরে অপেক্ষাকৃত কম Na গ্রহণ করে। বায়োটাইট [Biotite, $K(Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$] উচ্চ তাপাঙ্কের পাথরে Mg সমৃদ্ধ হয়: তবে তার সঙ্গে এর মধ্যে Al, Ti এগুলিরও পরিবর্তন হয়। ক্লোরাইট [Chlorite, $(Mg, Fe, Al)_6(Al, Si)_4O_{10}(OH)_8$] নীচু মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরে Fe-সমৃদ্ধ ও উঁচু মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরে Mg বেশী থাকতে পারে। এছাড়া টাল্ক (Talc), সারপেনটিন (Serpentine) ও ক্লোরিটয়েড (chloritoid) রূপান্তরিত পাথরের খনিজ।

নেসোসিলিকেট (Nesosilicates) : গার্নেট (garnet), এপিডোট (epidote), এবং এলুমিনিয়াম সিলিকেটগুলি এর মধ্যে পড়ে। নেসোসিলিকেটগুলিতে এ্যাটমগুলি ঘন সন্নিবিষ্ট থাকায় এই খনিজগুলি উচ্চ চাপে তৈরী রূপান্তরিত পাথরের বিশেষত্ব। Al_2SiO_5 এর তিনটি

পলিমর্ফ (Polymorph) আছে ঃ কায়ানাইটের (kyanite) আপেক্ষিক গুরুত্ব বেশী এবং সেজন্য উচ্চ চাপে তৈরী পাথরে থাকে, সিলিম্যানাইট (sillimanite) উচ্চ তাপাঙ্কে তৈরী পাথরে থাকে ও এণ্ডালুসাইট (andalusite) ঘর্ষণজনিত চাপে (shear stress) অস্থায়ী, এজন্য থার্মাল-মেটামরফিজমের ফলে তৈরী হয়। গার্নেট (garnets) রূপান্তরিত পাথরের বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ খনিজ, নিচু মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরে spessartite [$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$]-সমৃদ্ধ গার্নেট শিষ্ট পাথরে থাকে, মধ্যম মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরে almandine [$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$]-সমৃদ্ধ গার্নেট এবং উচ্চ চাপে গভীর ভূত্বকে রূপান্তরিত পাথরগুলির মধ্যে বেশী পাইরোপযুক্ত [Pyrope, $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$] গার্নেট থাকে। জোইসাইট—এপিডোট (Zoisite —epidote group) নীচু থেকে মধ্যম মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরে Ca ও Al বহনকারী প্রয়োজনীয় খনিজ।

রূপান্তরিত পাথরে আরও অনেক রকম খনিজ থাকে তার মধ্যে ক্যালসাইট ও ডলোমাইট অনেক ক্ষেত্রে (যেমন কার্বনেট পাথরে) বেশী থাকতে পারে; এ ছাড়া হেমাটাইট, ইলমেনাইট ম্যাগ-নেটাইট, পাইরাইট, পিরহটাইট, রুটিল, গ্রাফাইট, ইত্যাদি সিলিকেট খনিজ না হলেও রূপান্তরিত পাথরে দেখা যায়।

চতুর্দশ অধ্যায়

রূপান্তরিত পাথরের সাম্য অবস্থা, গ্রেড, জোন ও ফেসিস

ফেজ রুল (Phase Rule)

যে খনিজগুলি একত্রে একটি পাথর (আগ্নেয় বা রূপান্তরিত) তৈরী করছে সেগুলি সাম্য অবস্থায় (State of equilibrium) ছিল কিনা তা জানার জন্য একটি ভাল উপায় ফেজ রুলে (Phase Rule) প্রয়োগ করে দেখা। ফেজ রুলে প্রথম প্রবর্তন করেন J. W. Gibbs। তিনি দেখান যে :—

$$p+f=c+2$$

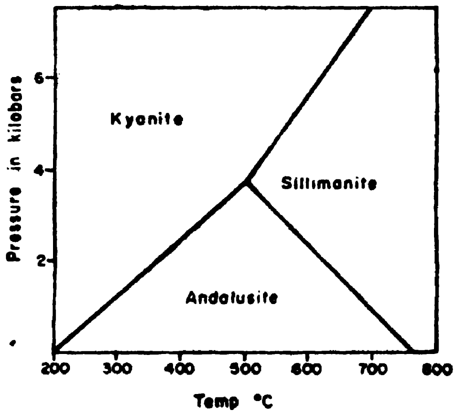
p=যে ফেজগুলি (phases) সাম্য অবস্থায় আছে তাদের বৃহত্তম সংখ্যা। ফেজ (Phase) অর্থ সমসত্ত্বযুক্ত পদার্থ যার ভৌতিক (physical) ও রাসায়নিক চরিত্রের একটি বৈশিষ্ট্য আছে এবং যাকে যান্ত্রিক উপায়ে অন্য পদার্থ থেকে তফাৎ করা যায়। যেমন জল, বরফ, জলীয় বাষ্প; এণ্ডালুসাইট (andalusite), সিলিম্যানাইট (sillimanite); কায়ানাইট (kyanite), CO_2—গ্যাস, চুন (CaO), ওলাস্টনাইট ($CaSiO_3$) ইত্যাদি।

c=উপাদানের (components) এর সংখ্যা, সবচেয়ে কম সংখ্যক উপাদান, যার দ্বারা বিবেচ্য সব ফেজের সংযুতি নির্দ্ধারণ করা যায়। যেমন, জল, বরফ, জলীয় বাষ্প—সবই একটি উপাদান H_2O থেকে তৈরী; ওলাস্টনাইট, চুন CO_2 গ্যাস—2টি উপাদান থেকে তৈরী করা যায় CaO, CO_2 ইত্যাদি।

f=স্বাধীনতার মাত্রা (degrees of freedom) যদি আমরা একটি system-কে সম্পূর্ণভাবে নির্দ্ধারণ করতে চাই তাহলে পরিবর্তনশীল তাপাঙ্ক, চাপ এবং উপাদানগুলির ঘনত্ব (concentration) এর মধ্যে যতগুলি অবস্থাকে স্থির ভাবে রাখা দরকার তার সংখ্যা।

উদাহরণ—1 : Al_2SiO_5 উপাদানযুক্ত একটি system-এ তিনটি কেলাসিত ফেজ থাকে। (1) এণ্ডালুসাইট (andalusite), (2) কায়ানাইট (kyanite), (3) সিলিম্যানাইট (sillimanite)-এরা তিনটি পলিমরর্ফ, এদের এ্যাটমিক গঠন বিভিন্ন কিন্তু রাসায়নিক উপাদান এক। ফেজ রুলে প্রয়োগ করলে দেখা যাবে $p+f=c+2=3$, সুতরাং এই system

এ 1টি মাত্র ফেজ ধরলে দেখা যাবে যে তার স্বাধীনতার মাত্রা হল দুই —অর্থাৎ তার স্থায়ীত্বের ক্ষেত্র বেশ বিস্তৃত হবে যেখানে তাপাঙ্ক ও চাপ স্বাধীনভাবে পরিবর্তন করা যায়—এই রকম হলে তাকে বলা হয় দ্বিপরিবর্তনীয় ক্ষেত্র (divariant field)। 2টি ফেজ ধরলে দেখা যাবে স্বাধীনতার মাত্রা হল এক—অর্থাৎ তাপাঙ্ক ও চাপ এর মধ্যে একটি মাত্রকে স্বাধীনভাবে পরিবর্তন করা চলে কারণ একটিকে স্থির করলে অপরটিও স্থির হবে—এই রকম হলে তার স্থায়ীত্বের ক্ষেত্র একটি রেখাদ্বারা নির্দিষ্ট হবে অর্থাৎ (univariant line) একক-পরিবর্তনীয় রেখা দিয়ে।



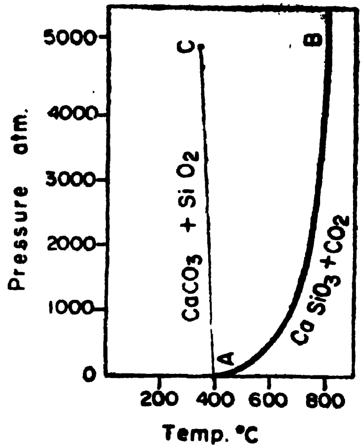
চিত্র 91

Al_2SiO_5 উপাদান যুক্ত ভিন্ন পলিমরফ কায়ানাইট, সিলিম্যানাইট ও এণ্ডালুসাইটের স্থায়ীত্বের ক্ষেত্র সমূহ।

ছবিতে তিনটি দ্বি-পরিবর্তনীয় ক্ষেত্র আছে যাতে এণ্ডালুসাইট কায়ানাইট ও সিলিম্যানাইট এই তিনটি খনিজ এককভাবে স্থায়ী। কায়ানাইট ও সিলিম্যানাইট এক সঙ্গে থাকতে পারে মাত্র একটি একক-পরিবর্তনীয় রেখায় যেটি ঐ দুই খনিজের স্থায়ীত্বের ক্ষেত্রের সীমানা নির্দেশ করে। সেই রকম এণ্ডালুসাইট-সিলিম্যানাইটের মধ্যে একটি এবং কায়ানাইট-এণ্ডালুসাইটের মধ্যে একটি একক-পরিবর্তনীয় রেখা আছে।

Gibbs-এর ফেজ রুল অনুসারে ঐ তিনটি খনিজ এক সঙ্গে থাকতে পারে যখন f=O, অর্থাৎ তাপাঙ্ক ও চাপ সম্পর্কে যখন কোন স্বাধীনতা থাকবে না এই রকম হবে একটি অপরিবর্তনীয় বিন্দুতে (invariant point)।

Al_2SiO_5 এই system-এ স্থায়ীত্বের ক্ষেত্রগুলি গবেষণাগারে উচ্চ-চাপ ও উচ্চতাপাঙ্ক সহনশীল বোমার (High pressure—high temperature Bombs) সাহায্যে পরীক্ষা করে স্থির করা হয়েছে (চিত্র—91)। অ-পরিবর্তনীয় বিন্দুটি 4 কিলোবার ও 500° সেঃ অবস্থিত। বহু গবেষক এই পরীক্ষা করেছেন।



চিত্র 92

চাপ ও তাপাঙ্ক অনুসারে ক্যালসাইট+সিলিকা=ওলাস্টনাইট+কার্বন ডাই-অক্সাইড—এই বিক্রিয়ার স্থায়ীত্বের ক্ষেত্র।

উদাহরণ—2 : $CaCO_3+SiO_2=CaSiO_3+CO_2$ একটি বিশেষ গুরুত্ব-পূর্ণ বিক্রিয়া। V. M. Goldschmidt এবং পরবর্তীকালে R. I. Harker and O. F. Tuttle-এর উপর গবেষণা করে দেখিয়েছেন যে চাপবিহীন অবস্থায় এই বিক্রিয়া 400° তলায় হয়, চাপ বাড়লে বিক্রিয়ার তাপাঙ্ক বেশী হতে থাকে ও 2000 এটমসফিয়ার চাপে তাপাঙ্ক দাঁড়ায় 750° চিত্র 92-তে AB রেখার বাম দিকে ক্যালসিয়াম কার্বনেট ও সিলিকা (অর্থাৎ ক্যালসাইট+কোয়ার্টজ) স্থায়ী কিন্তু ঐ রেখার ডান দিকে ক্যালসিয়াম সিলিকেট ও কার্বন ডাই-অক্সাইড (ওলাস্টনাইট+CO_2)। এই রেখার উপর এই চারটি ফেজ সাম্য অবস্থায় থাকে। ফেজ রুল অনুসারে C=3 (অর্থাৎ $CaO+SiO_2+CO_2$) সুতরাং 4টি ফেজ থাকতে পারে যখন f=1 অর্থাৎ তাপাঙ্ক বা চাপ এর মধ্যে একটিকে মাত্র স্বাধীনভাবে পরিবর্তন করা যাবে। সেইজন্য system-টি ঐ অবস্থায় একক-পরিবর্তনীয় (AB রেখায়)। তিনটি ফেজ ধরিলে

(যেমন $CaSiO_3$, $CaCO_3$, CO_2 অথবা $CaCO_3$, SiO_2, CO_2) f=2 অর্থাৎ systemটি হবে দ্বি-পরিবর্তনীয়, তাপাঙ্ক ও চাপ দুই স্বাধীনভাবে পরিবর্তন করা যাবে অর্থাৎ একটি T—P ছবিতে এদের স্থায়ীত্ব দুটি বড় ক্ষেত্রে নির্দেশ করা যাবে।

এই বিক্রিয়া প্রকৃতির ক্ষেত্রে হলে CO_2 গ্যাস বিক্রিয়ার সময় তৈরী হওয়ার সংগে সংগে পাথর থেকে বার হয়ে গেলে ঐ বিক্রিয়া কম তাপাঙ্কে হবে (ছবিতে AC রেখায় দেখান হয়েছে)। ওলাস্টনাইট তৈরী হওয়ার তাপাঙ্ক চাপ বৃদ্ধির সংগে সংগে কমে যেতে থাকবে কারণ ওলাস্টনাইট হল কোয়ার্টজ বা ক্যালসাইটের থেকে বেশী আপেক্ষিক গুরুত্বযুক্ত। এজন্য বেশী চাপে এই বিক্রিয়া কম তাপাঙ্কে হবে। এই রকম systemকে খোলা সিসটেম (open system) বলে। V. M. Goldschmidt দেখিয়েছেন যে রূপান্তরিত পাথরগুলি তৈরীর সময় তাপ ও চাপ যদি স্বাধীনভাবে পরিবর্তনশীল হয়ে থাকে তা হলে ঐ রূপান্তরিত পাথরগুলিকে সচরাচর দেখতে পাওয়া যাবে। এজন্য স্বাধীনতার মাত্রা=2 ধরা প্রয়োজন; অর্থাৎ কঠিন ফেজগুলির বৃহত্তম সংখ্যা হবে যতগুলি উপাদান তাদের সংখ্যার সমান। Goldschmidt-এর এই সাধারণভাবে প্রযোজ্য নিয়মটিকে মিনারালজিক্যাল ফেজ রুল বলে, কারণ এই নিয়ম আগ্নেয়পাথর ও রূপান্তরিত পাথর উভয়ের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য "The maximum number of crystalline minerals that can coexist in stable equilibrium is equal to the number of components in the rock in question."

একটি পাথরে 10টি প্রধান উপাদান থাকে, তবে তাঁরা খনিজ পদার্থের মধ্যে প্রতিস্থাপন করতে পারে, যেমন FeO স্থানে MgO, Al_2O_3 স্থানে Fe_2O_3, ইত্যাদি, এর ফলে ঠিক কতগুলি উপাদান হিসাবে করা হবে তা নির্দ্ধারণ করা কঠিন। সচরাচর $(Al,Fe)_2O_3$, CaO এবং (MgFe)O এই তিন উপাদানের ভিত্তিতে রূপান্তরিত পাথরের খনিজগুলির সাম্য সম্বন্ধে আলোচনা করা হয়। তবে বিশেষ ক্ষেত্রে 4টি উপাদান বিশিষ্ট চতুষ্কোণ (Tetrahedral model) আদর্শ গ্রহণ করে আলোচনা করতে হয়।

রূপান্তরিত পাথরে সাম্য অবস্থা
(Equilibrium in metamorphic rocks)

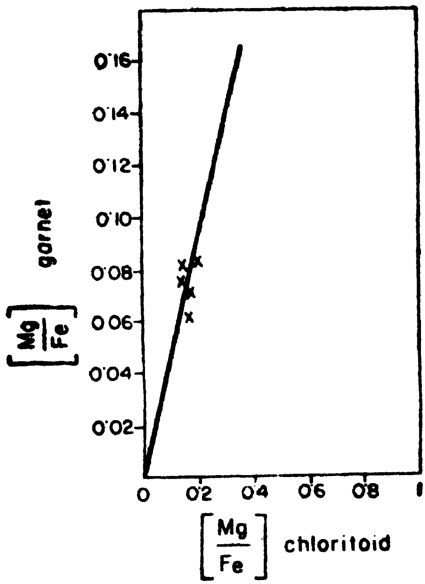
রূপান্তরিত পাথরে সাম্য অবস্থা থাকলে নিম্নলিখিত গুণগুলি সাধারণতঃ দেখা যায়:—

(1) খনিজ সমাবেশ ফেজ রুল (Phase rule) অনুসরণ করবে।

(2) যে সব খনিজ পরস্পরের সঙ্গে থাকার অনুপযোগী সেগুলি একত্রে দেখা যাবে না। যেমন পাইরোপ গার্নেট (pyrope garnet) ও ক্লোরাইট (chlorite); সিলিম্যানাইট (sillimanite) ও পাইরোফিলাইট (pyrophyllite) ইত্যাদি।

(3) একটি খনিজ অপর খনিজকে প্রতিস্থাপন করলে অসাম্য (disequilibrium) অবস্থা নির্দেশ করে—সুতরাং এইরূপ গ্রথন (texture) দেখা যাবে না।

(4) খনিজগুলি বড় পরফিরোব্লাস্ট (porphyroblast) তৈরী করলে এবং পুনরায় কেলাসন জনিত গ্রথন (recrystallization



চিত্র 91

শিস্ট পাথরে একত্র সন্নিবিষ্ট গার্নেট ও ক্লোরিটয়েড খনিজের Mg/Fe atomic ratio চিত্রে দেখান হয়েছে।

একটি সরল রেখা দ্বারা এই দুই খনিজের মধ্যে Mg/Fe বন্টন প্রকাশ করা যায়।

(After A. L. Albee, 1965)

texture) দেখা গেলে রূপান্তরের গতি সাম্য অবস্থার দিকে ছিল একথা বোঝা যাবে।

(5) সাধারণতঃ মধ্যম ও উচ্চ মাত্রা আঞ্চলিক রূপান্তরের সময় রাসায়নিক বিক্রিয়া সুদীর্ঘকাল চলতে থাকে এবং ঐ সংগে ভূ-আলোড়ন ও পাথরের দানার মধ্যবর্তী ফ্লুইড (pore fluid) উভয়ই ক্যাটালিস্ট্ হিসাবে কাজ করে, এজন্য এইরূপ পাথরে সাম্যভাব আশা করা যায়।

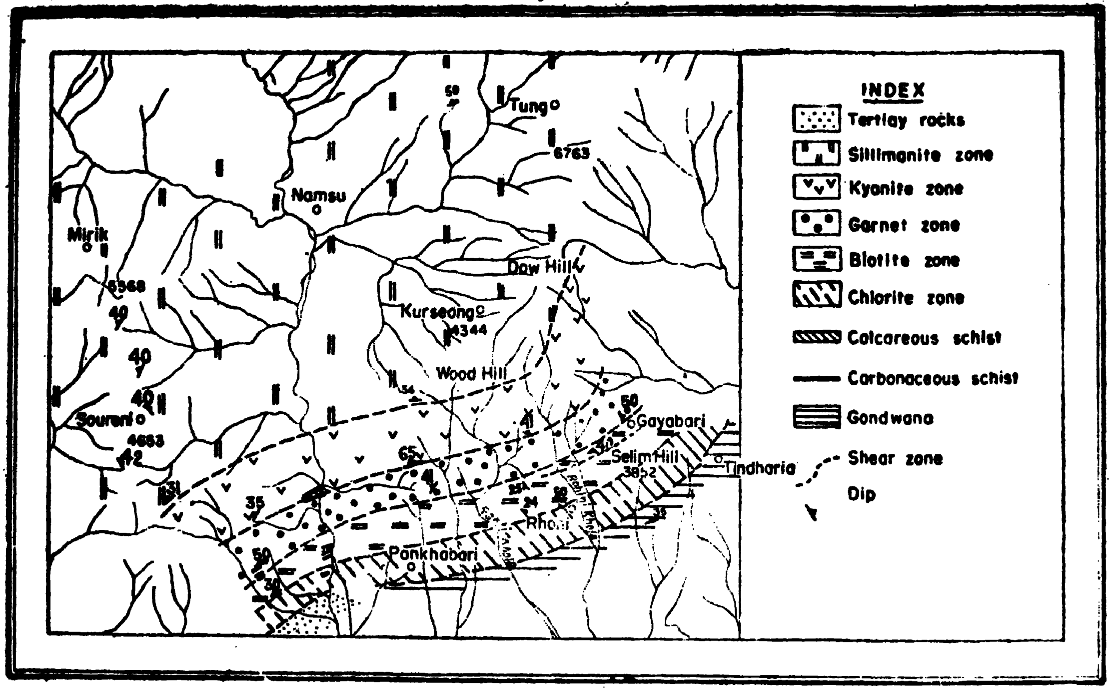
(6) সাম্য অবস্থায় থাকলে একটি পাথরে একত্রে অবস্থিত খনিজগুলির উপাদানে একটি বৈশিষ্ট্য দেখা যায় : একটি মৌলিক পদার্থ দুই খনিজের দানার মধ্যে থাকলে তাদের পরিমাণের একটি নিয়মিত বণ্টন (regular distribution) দেখা যাবে। শিস্ট পাথরে একত্র সন্নিবিস্ট গার্নেট ও ক্লোরিটয়েড্ খনিজের Mg/Fe atomic ratio চিত্রে দেখান হয়েছে (চিত্র—93)। এই চিত্র থেকে দেখা যায় যে একটি সরল রেখা দ্বারা ঐ খনিজ দ্বয়ের Mg/Fe বণ্টন প্রকাশ করা যায়। অর্থাৎ এদের Mg/Fe বণ্টন বেশ নিয়মিত।

এই ধরণের গবেষণা থেকে জানা গেছে যে শিস্ট পাথরের খনিজগুলি সাধারণতঃ সাম্য অবস্থায় তৈরী হয়েছিল।

রূপান্তরের তীব্রতা নির্দেশক সূচক খনিজ ও জোন

পার্বত্য এলাকাতে বা আরোজেনিক অঞ্চলে বিশাল এলাকা জুড়ে রূপান্তরিত পাথর দেখা যায়; এই পাথরের সংগে গ্রানাইট বা অন্য উদবেধী অবয়বের সোজাসুজি কোন সম্পর্ক দেখা যায় না। এই এলাকায় পাথরকে আঞ্চলিক রূপান্তরিত (Regional metamorphism) বলা যায়।

স্কটল্যান্ডের পার্বত্য অঞ্চলে Dalradian schist এলাকাতে এই ধরণের পাথর আছে। George Barrow (1893) এই এলাকার রূপান্তরিত পাথরের রূপান্তরের তীব্রতা পরিমাপ করার এক উপায় নির্দ্ধারণ করেন। এই পাথরগুলি পেলিটিক উপাদান বিশিষ্ট পলি এবং তার থেকে রূপান্তরিত হয়ে স্লেট, ফিলাইট, শিস্ট, নাইস (Gneiss) পাথর তৈরী হয়েছে। এই পাথরগুলির মধ্যে Barrow কতগুলি সূচক-খনিজ (index minerals) স্থির করেন যেগুলির প্রথম পাথরের মধ্যে দেখা যাওয়ার স্থানগুলি ম্যাপের উপর চিহ্নিত করা হয়। এইভাবে প্রথম আবির্ভাব নির্দ্দেশক রেখা ম্যাপের উপর চিহ্নিত করা যায়—একে Isograd (আইসোগ্রাড) বলে। এর অর্থ সমতুল্য মাত্রা রূপান্তর। এইভাবে Barrow ক্লোরাইট (chlorite),



চিত্র 94

পশ্চিমবঙ্গের দার্জিলিং হিমালয়ের কার্শিয়াং অঞ্চলে আঞ্চলিক রূপান্তরের তীব্রতা সূচক খনিজগুলির জোন। (A. De, 1956 অনুসারে)।
(দ্রষ্টব্য : Tertiay= Tertiary)

বায়োটাইট (biotite), গার্নেট (garnet), স্টরোলাইট (staurolite), কায়ানাইট (kyanite) ও সিলিম্যানাইট (sillimanite) আইসোগ্রাড ম্যাপের উপর চিহ্নিত করেন। পরপর দুই আইসোগ্রাডের মধ্যবর্তী এলাকাকে জোন (zone) নাম দেওয়া হয় ও যে সূচক—খনিজ ঐ এলাকার পাথরে পাওয়া যায় তারই নামে জোনের নামকরণ হয়। Barrow স্থির করেন যে এই রূপান্তরের কারণ সিলিম্যানাইট জোনে অবস্থিত গ্রানাইটিক নাইস পাথরের অবয়ব তৈরী হওয়ার সময় ঐগুলি থেকে আসা তাপ। পরবর্তী কালে C. E. Tilley (1924) দেখান যে রূপান্তরিত হওয়ার কারণ গভীর ভূত্বকে প্রোথিত হওয়ার জন্য তাপাঙ্ক ও চাপের বৃদ্ধি।

বর্তমানে আমরা বলতে পারি যে সূচক-খনিজগুলির প্রথম আবির্ভাব যেমন রূপান্তরিত হওয়ায় তাপাঙ্ক, চাপের (P_{H_2O}, Ptotal ইত্যাদি) উপর নির্ভর করে সেই রকম নির্ভর করে পাথরের রাসায়নিক উপাদান ও রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতিবেগের উপর।

এইভাবে আইসোগ্রাডের অবস্থান মানচিত্রে নির্দেশ করে পৃথিবীর বিভিন্ন অঞ্চলে রূপান্তরের মাত্রা সূক্ষ্মভাবে নিরূপণ করা হয়েছে। ভারতবর্ষের সিমলার পার্বত্য অঞ্চলে (G. Pilgrim and W. D. West, 1924), পশ্চিমবঙ্গের দার্জিলিং (S. Ray, 1947) এর হিমালয় অঞ্চলে (চিত্র—94), সিংভূমের শিস্ট পাথর এলাকাতে এই রকম ভাবে আইসোগ্রাড ও জোন সমীক্ষা করে মানচিত্র প্রস্তুত করা হয়েছে ও পাথরের সৃষ্টির সঙ্গে পর্বতমালা সৃষ্টির সম্পর্ক সম্বন্ধে অনেক তথ্য জানা গেছে।

Barrow (1893, 1912) শুধু পেলিটিক পাথরে এই সূচক-খনিজগুলি নির্ধারণ করেন। পরবর্তীকালে বেসিক পাথর (বেসিক আগ্নেয় পাথর—J. D. H. Wiseman 1934 ; বেসিক পাললিক পাথর—F. C. Phillips, 1930), এবং ক্যালকেরিয়াস পাথরের (W. Q. Kennedy, 1940) মধ্যে Barrow-র বিভিন্ন জোনে অন্য রাসায়নিক উপাদানযুক্ত পাথরে যে বিভিন্ন খনিজ তৈরী হয় তা স্থির করা হয়েছে। এর ফলে কোনও এলাকায় পেলিটিক পাথর না থাকলেও Barrovian Zones নির্দিষ্ট করা যায়।

প্রসঙ্গতঃ বলা যায় যে একই উপাদানযুক্ত পাথরে বিভিন্ন সূচক-খনিজ স্থির করে Barrow যে গবেষণা আরম্ভ করেন, পরবর্তীকালে Eskola (1915) মিনারাল ফেসিস (Facies) চিন্তাধারার মধ্যে সেই গবেষণাকে আরও কার্যকরী করেছেন কারণ এর ফলে বিভিন্ন রাসায়নিক উপাদানযুক্ত পাথরের রূপান্তরের মাত্রা সমগ্র খনিজের সমাবেশ থেকে স্থির করা যায়।

ভূত্বকের মধ্যে গভীরতা অনুসারে রূপান্তরের শ্রেণীবিভাগ

F. Becke (1903, 1913) রূপান্তরিত পাথরের খনিজ সমাবেশের (assemblages) ও গ্রথনের (texture) সঙ্গে রূপান্তরিত হওয়ার সময়কার অবস্থার সম্পর্ক অনুসন্ধান করেন। আঞ্চলিক রূপান্তরিত পাথরের খনিজ সমাবেশকে তিনি প্রধানতঃ 2 ভাগে ভাগ করেন। Becke-র মতে বেশী আপেক্ষিক গুরুত্বপূর্ণ খনিজগুলি বেশী চাপের ফলে তৈরী হয় (একে volume law বলা হয়)। এজন্য ভূত্বকের ওই বিভিন্ন গভীরতায় অবস্থিত দুই অঞ্চলে যে ফিজিক্যাল অবস্থা আছে (যেমন চাপ ও তাপাঙ্ক) তার সঙ্গে পাথরের খনিজ ও গ্রথনের সম্পর্ক নির্দেশ করা হয়।

(ক) উপরের অঞ্চল (Upper Zone)—চাপ বেশী হওয়ার জন্য এই অঞ্চলে বিক্রিয়াগুলি হয়েছে বলে বেকে মনে করেন। এই অঞ্চলের খনিজগুলি—জোইসাইট, এপিডোট, অভ্র, ক্লোরাইট, এলবাইট, এন্টি-গোরাইট, ক্লোরিটয়েড্ ইত্যাদি।

(খ) নীচের অঞ্চল (Lower Zone)—এই অঞ্চলে বেশী চাপের সঙ্গে বেশী তাপাঙ্ক কার্যকরী থাকে। বিশিষ্ট খনিজগুলি—পাইরক্সিন, গার্নেট, বায়োটাইট, Ca-প্লাগীওক্লেস, অর্থোক্লেস, সিলিম্যানাইট, কর্ডিয়েরাইট, অলিভিন ইত্যাদি।

এই দুই অঞ্চলের মধ্যে কোনও নির্দিষ্ট সীমা রেখা স্থিরকরা হয়নি।

F. Becke-র চিন্তাধারা অনুসরণ করে U. Grubenmann (1904) আর্কিয়ান যুগের রূপান্তরিত পাথরের সঙ্গে অপেক্ষাকৃত কম পুরাণ অঞ্চলের পাথরের তথ্য তুলনা করে তিনটি গভীরতার অঞ্চলে রূপান্তরিত পাথরকে শ্রেণী বিভাগ করেছিলেন:—

(ক) উপরের অঞ্চল, এপি-জোন (Epi-Zone)—এই অঞ্চলের গভীরতা ভূত্বকের মধ্যে খুব কম। এখানে তাপাঙ্ক কম ও চাপ কম। স্ট্রেস এক এক ক্ষেত্রে বেশ বেশী হতে পারে। খনিজগুলি অভ্র, ক্লোরাইট, ট্যাল্ক, এমফিবোল, এপিডোট, জোইসাইট, এলবাইট, ক্যালসাইট ইত্যাদি। স্লেট ও ফিলাইট এই অঞ্চলের পাথর। (খ) মধ্যম অঞ্চল, মেসো-জোন (Meso-Zone) তাপাঙ্ক ও চাপ উপরের অঞ্চলের থেকে বেশী হয়। স্ট্রেস কোনও কোনও ক্ষেত্রে খুব বেশী হতে পারে। যে খনিজগুলি এই অঞ্চলে পাওয়া যায় তা হল—বায়োটাইট, গার্নেট, স্টরোলাইট, কায়ানাইট, এনথোফিলাইট হর্নব্লেন্ড ইত্যাদি। শিস্টগুলি এই অঞ্চলের পাথর। (গ) নীচের অঞ্চল, ক্যাটা-জোন (Kata-Zone)

গভীর অঞ্চলে রূপান্তরিত হলেও বহু সময় ব্যাপী রাসায়নিক পুনরায় কেলাসন চলতে পারে। চাপ (hydrostatic pressure) চতুর্দিকে খুব বেশী। খনিজগুলি সিলিম্যানাইট, এণ্ডালুসাইট, হাইপারস্থিন, অলিভিন, পাইরক্সিন, গার্নেট, হর্ণব্লেন্ড, স্পিনেল, এনরথাইট ইত্যাদি। এই অঞ্চলেই আর্কিয়ান নাইস ও গ্রানুলাইট পাথর অন্তর্ভুক্ত হবে।

Grubenmann-এর শ্রেণী বিভাগে এক একটি খনিজকে রূপান্তরের নির্দেশক বলে গ্রহণ করা হয়েছিল। বর্তমানে পাথরের সম্পূর্ণ খনিজ-সমাবেশকেই (mineral assemblage) নির্দেশক বলে মনে করা হয়। রূপান্তরের মাত্রার সঙ্গে গভীরতার যে সম্পর্ক Grubenmann স্থির করেছিলেন, তা সম্পূর্ণ ঠিক নয় ক্যরণ রূপান্তরের মাত্রা পাশের দিকেও বেশী হতে পারে, এমনকি কোনও কোন অঞ্চলে তলার পাথরের থেকে উপরের অঞ্চলের পাথরের রূপান্তরের মাত্রা বেশী হতে দেখা গেছে, যেমন দার্জিলিং হিমালয়ের ডেলিং শিস্টের উপর আছে দার্জিলিং নাইস।

রূপান্তরের ফেসিস (Metamorphic Facies)

দক্ষিণ নরওয়ের ওসলো এলাকাতে আগ্নেয় পাথরের অবয়বের চার-দিকের রূপান্তরিত পাথরের উপর গবেষণা করার সময় V. M. Goldschmidt (1911) বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ফিজিকো-কেমিক্যাল দিক আলোচনা করেন। এই এলাকাতে বিভিন্ন রাসায়নিক উপাদান দিয়ে গঠিত হওয়া সত্বেও হর্নফেলস পাথরগুলি খুব সরল খনিজ সমাবেশ তৈরী করেছে। কোয়ার্টজযুক্ত পাথরে 10টি সাধারণ খনিজের মধ্যে মাত্র 4 বা 5 খনিজ দিয়ে পাথরগুলি তৈরী। এই খনিজ সমাবেশের সরলতা লক্ষ্য করে Goldschmidt মনে করেন যে পাথরগুলি সাম্য অবস্থায় তৈরী হয়েছিল। এই খনিজ-সমাবেশগুলির উপর মিনারালজি-ক্যাল ফেজ রুল প্রয়োগ করেও ঐ সাম্য অবস্থা লক্ষ্য করা যায়।

ফিনল্যাণ্ডের ওরিজারভী খনি এলাকাতে প্রীক্যাম্বিয়ান অঞ্চলে গবেষণা করার সময় P. Eskola (1914) ঐ অঞ্চলের পাথরগুলির খনিজ ও রাসায়নিক উপাদানের সঙ্গে তাদের রূপান্তরিত হওয়ার সময়কার ফিজিকো কেমিক্যাল অবস্থাগুলি অনুসন্ধান করেন। এই এলাকার রূপান্তরিত পাথর ওসলো এলাকার পাথরের তুলনায় বেশী চাপ ও কম তাপে তৈরী বলে অনুমিত হয়। কারণ কতকগুলি পাথর একই রাসায়নিক উপাদানে গঠিত হওয়া সত্বেও ঐ দুই জায়গায় দুইটি বিভিন্ন খনিজ সমাবেশ তৈরী করেছে। Eskola আরও দেখান যে বিশেষ তাপাঙ্ক ও চাপে পাথর রূপান্তরিত হওয়ার পর রাসায়নিক সাম্য

অবস্থায় আসার ফলে যে খনিজ উপাদান তৈরী হয়েছে সেগুলি ঐ পাথরের রাসায়নিক উপাদানের উপর নির্ভর করে।

খনিজ সমাবেশগুলি এজন্য রূপান্তরিত পাথরের তৈরী হওয়ার সময়কার ফিজিক্যাল অবস্থা এবং পাথরের রাসায়নিক উপাদানের উপর নির্ভর করে। Eskola (1920) প্রস্তাব করেন যে যেসব পাথর একই রকম অবস্থার মধ্যে তৈরী হয়েছে এবং যাদের খনিজগুলি সাম্য অবস্থায় তৈরী হয়ে ছিল তাদের একটি ফেসিস্ (Facies) এর মধ্যে অন্তর্ভুক্ত করা যায়।

"A mineral facies comprises all rocks that have originated under temperature and pressure conditions so similar that a definite chemical composition has resulted in the same set of minerals, quite regardless of their mode of crystallization." (P. Eskola, 1920)

কতগুলি গুরুত্বপূর্ণ (critical) খনিজ ও খনিজ সমাবেশ (assemblege) দিয়ে এক একটি ফেসিস (Facies)-কে চেনা যায় এবং তার সংগা স্থির করা যায়। ঐ বিশেষ খনিজগুলি ও খনিজ সমাবেশগুলি আলোচ্য ফেসিসটির পক্ষে অত্যন্ত বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বলে নির্দিষ্ট করা হয়। এই বিশেষভাবে নির্দিষ্ট খনিজগুলি ও খনিজ সমাবেশগুলি অন্য কোনও ফেসিসে থাকবে না।

স্মরণ রাখা দরকার যে অন্য অনেক খনিজ আছে যারা চাপ ও তাপাঙ্কের খুব বেশী তারতম্য হলেও স্থায়ী থাকতে পারে, এজন্য তাদের একাধিক ফেসিসের মধ্যে দেখা যেতে পারে।

মনে রাখা দরকার পাথর যে চাপ ও তাপাঙ্কে রূপান্তরিত হয়েছিল সেই চাপ ও তাপাঙ্ক অনুসারে শ্রেণী বিভাগ করতে পারলে সব থেকে ভালভাবে রূপান্তরিত পাথরের শ্রেণী বিভাগ সম্ভব হবে। এইরূপ আদর্শ শ্রেণী বিভাগ এখনও সম্ভব হয় নাই।

Eskola দেখিয়েছিলেন যে একই রাসায়নিক উপাদান বিশিষ্ট পাথর বিভিন্ন চাপ ও তাপাঙ্কে বিভিন্ন খনিজ সমাবেশ সৃষ্টি করছে। কোনও কোনও রাসায়নিক উপাদানযুক্ত পাথর এই বিভিন্ন চাপ ও তাপাঙ্কে অনেক বেশী সংখ্যক খনিজ সমাবেশ তৈরী করে। এই এক একটি খনিজ সমাবেশ রূপান্তরের সময় চাপ ও তাপাঙ্কে বিশেষ নির্দিষ্ট অবস্থার স্থায়ী ছিল। গ্যাব্রো পাথরের রাসায়নিক উপাদানের বৈশিষ্ট্য হল এই যে সহজেই এই উপাদান বিভিন্ন চাপও তাপাঙ্কে নতুন রকম খনিজ সমাবেশ সৃষ্টি করে। চাপ ও তাপাঙ্কের পরিবর্তন যেন খনিজগুলিকে সহানুভূতিসূচক পরিবর্তনে বাধ্য করে। নিম্ন-

গ্যাব্রো পাথরের উপাদান বিশিষ্ট পাথরে বিভিন্ন ফেসিসে খনিজ সমাবেশ

ডায়াবেস ফেসিস (আগ্নেয় পাথর)	গ্রীনশিস্ট ফেসিস	এপিডোট এমফিবোলাইট ফেসিস	এমফিবোলাইট ফেসিস	গ্রানুলাইট ফেসিস	একলগাইট ফেসিস	পাইরক্সিন হর্ণফেলস ফেসিস
পাথরের নাম : ডায়াবেস	ক্লোরাইট শিস্ট	এপিডোট এমফিবোলাইট	এমফিবোলাইট	নরাইটিক গ্রানুলাইট	একলগাইট	হর্ণফেল্স
খনিজ : প্লাজিওক্লেস 48·4 পিজিয়নাইট 37. 4 হর্ণব্লেণ্ড, মাইকা ইত্যাদি } 14·2	(এলবাইট) 39·9 ক্লোরাইট 29·4 এপিডোট 23·0 অন্যান্য 7·2	(An_0) 42·8 হর্ণব্লেণ্ড 42·2 ক্লাইনো জোইসাইট 12·3 অন্যান্য 8·4	(An_{48}) 26·5 হর্ণব্লেণ্ড 71·5 কোয়ার্টজ 2·0	প্লাজিওক্লেস 49·5 হাইপারস্থিন 25·3 ডাইঅপসাইড 9·6 অর্থোক্লেস 7·1 অন্যান্য 7·4	ওমফাসাইট 48·5 গার্নেট 50·5 অন্যান্য 1·8	(An_{40}) .48 হাইপারস্থিন 17 ডাই অপসাইড 18 বায়োটাইট আয়রণ ওর অন্যান্য } 17

(P. Eskola অনুসারে)

লিখিত ছকেতে এই বিভিন্ন খনিজ সমাবেশ ও পাথর দেখান হয়েছে যারা সবাই একই রাসায়নিক উপাদানবিশিষ্ট।

একই রাসায়নিক উপাদান থাকায় Eskola প্রমাণ করেন যে এই খনিজ সমাবেশের পরিবর্তন চাপ ও তাপাঙ্কের পরিবর্তনের নির্দেশক। সুতরাং Eskola এগুলিকে ফেসিসের নামকরণে ব্যবহার করেছেন। অন্যান্য রাসায়নিক উপাদান বিশিষ্ট পাথরকে তুলনা করে এই সকল ফেসিসের অন্তর্ভুক্ত করা হয়। সুতরাং এই ফেসিসগুলি বর্তমানে নির্দিষ্ট চাপ ও তাপাঙ্কের নির্দেশ করে, যদিও এই থেকে চাপ ও তাপাঙ্কের সঠিক পরিমাপ (absolute value) স্থির করতে পারা যাবে না।

ফেসিসের সংজ্ঞা এমন যে তা যে কোনও পাথরের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য, যেমন আগ্নেয় পাথর, রূপান্তরিত পাথর ও পাললিক পাথর। তবে রূপান্তরিত পাথরের ক্ষেত্রে এটা সবচেয়ে বেশী প্রয়োজনীয়। এজন্য Eskola এই শ্রেণীবিভাগের নাম দেন Mineral facies of Rocks। ফেসিসের সঙ্গে চাপ ও তাপাঙ্কের যে তুলনামূলক বিভাগ Eskola করেছেন নিম্নে তা দেওয়া হ'ল।

খনিজ ফেসিসের সঙ্গে তাপাঙ্ক ও চাপের সম্পর্ক

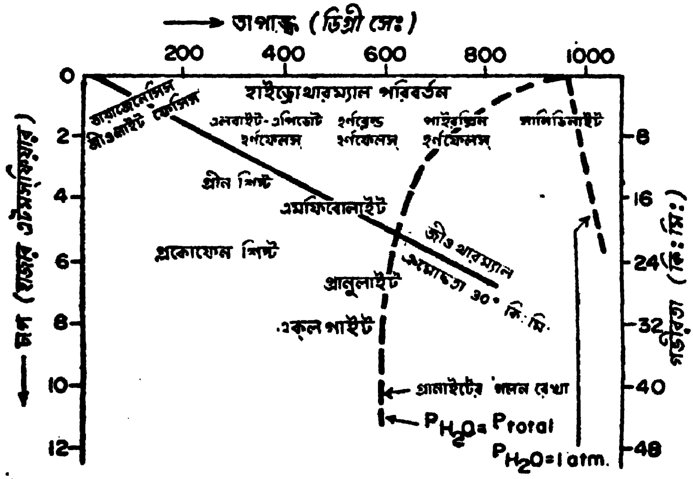
তাপাঙ্ক বৃদ্ধি ⟶

চাপের বৃদ্ধি ↓

আগ্নের পাথরের জীওলাইট তৈরী ও পাললিক পাথরের রূপান্তর জনিত পুনরায় কেলাসন			পাইরক্সিন হর্ণ ফেলস ফেসিস Pyroxene hornfels facies
গ্রীণ শিস্ট ফেসিস Greenschist facies	এপিডোট এমফিবোলাইট ফেসিস Epidote amphibolite facies	এমফিবোলাইট ফেসিস Amphibolite facies (হর্ণ ব্লেণ্ড গ্যাব্রো ফেসিস Hornblende Gabbro facies)	গ্রানুলাইট ফেসিস Granulite facies. (গ্যাব্রো ফেসিস Gabbro facies)
গ্লকোফেনশিস্ট ফেসিস Glaucophane schist facies		একলগাইট ফেসিস Eclogite facies (একলগাইট ফেসিস Eclogite facies)	

(এই ছকে আগ্নেয় ফেসিস কে বন্ধনীর মধ্যে দেওয়া হল)

1920 সালে Eskola মিনারাল ফেসিস্ প্রস্তাব করার পর বিগত অর্দ্ধ শতাব্দীর উপর নতুন গবেষণা চলেছে। এর ফলে এক দিকে ফেসিস্গুলিকে আরও সূক্ষ্মভাবে বিভাগ করার চেষ্টা হয়েছে। অপরদিকে গবেষণাগারে আধুনিক যন্ত্রের সাহায্যে রূপান্তরিত পাথরের খনিজগুলিকে ও খনিজ সমাবেশগুলিকে কৃত্রিম উপায় সৃষ্টি করে তাদের স্থায়িত্ব কি রকম তাপাঙ্ক ও চাপের মধ্যে হতে পারে সেই সম্বন্ধে বহু নির্দেশ পাওয়া গেছে। আমরা বর্তমানে তাপাঙ্ক ও চাপের সঙ্গে ফেসিসের সম্পর্ক নির্দেশক একটি ছক তৈরী করতে সক্ষম (চিত্র 95)। তবে এ সম্পর্কে আরও যত বেশী জানা যাবে তত সূক্ষ্ম হিসাব করা সম্ভব হবে। বিভিন্ন গবেষকদের মধ্যে এ বিষয়ে



প্রধান রূপান্তরিত ফেসিসের চাপ-তাপাঙ্ক ক্ষেত্র

চিত্র 95

রূপান্তরের প্রধান ফেসিসগুলির চাপ—তাপাঙ্ক ক্ষেত্র। ভূত্বকে গভীরতার সঙ্গে জীওথারম্যাল ক্রমোচ্চতা 30° প্রতি কিঃ মিঃ দ্রষ্টব্য। গ্রানাইট পাথরের গলন রেখার (1) $PH_2O=P$total এবং (2) $PH_2O=1$ atm. সঙ্গে বিভিন্ন ফেসিসের সম্পর্ক লক্ষণীয়। (K. B. Krauskopf, 1967 অনুসারে)।

কিছু মতভেদ দেখা যায়। ভবিষ্যতে আরও কাজের মধ্যে দিয়ে তার মীমাংসা সম্ভব হবে। উপরে যে ছবি দেওয়া হল তাতে ফেসিসগুলির সঙ্গে গ্রানাইট পাথরের গলিত হওয়ার চাপ ও তাপাঙ্কসূচক রেখাও দেওয়া হয়েছে—কারণ বহুক্ষেত্রে উঁচু চাপ ও তাপাঙ্কসূচক ফেসিসে ঐ জাতীয় উপাদানের পাথর আংশিক ভাবে গলিত হয়ে যায় ও মিগ্মাটাইট (migmatite) জাতীয় পাথর তৈরী করে।

পঞ্চদশ অধ্যায়

রূপান্তরিত পাথরে খনিজের বৃদ্ধি ও আকার এবং পাথরের গঠন

পাথর রূপান্তরিত হওয়ার সময় কোনও খনিজের কেলাসগুলির সৃষ্টি (nucleation) এবং বৃদ্ধি সবই হয় কঠিন পাথরের মধ্যে, কারণ আগ্নেয়, পাললিক বা অন্য রূপান্তরিত পাথরের রূপান্তরের জন্যই এই পাথর তৈরী হয়। সুতরাং আগ্নেয় পাথরে যেমন গলিত ম্যাগমা থেকে কেলাসন হয়, রূপান্তরিত পাথরে সেইরূপ হয় না। বিভিন্ন খনিজের কেলাসগুলিকে এইভাবে একটি কঠিন পাথরের মধ্যে বৃদ্ধির জন্য পরস্পরের সংগে প্রতিযোগীতা করতে হয়। তার ফলে যে খনিজের বৃদ্ধি বেশী দ্রুত হয় এবং দানাগুলির উপরিভাগের সমতল বেশী স্থায়ী হয়, সেই খনিজ অপর খনিজ অপেক্ষা বড় ও সম্পূর্ণ কেলাস তৈরী করতে পারে।

রূপান্তরের সময় কঠিন পরিবেশের মধ্যে যে কেলাসের বৃদ্ধি হয় তাকে ক্রিস্টালোব্লাস্ট্ (Crystalloblast) বলা হয়। একটি পাথর রূপান্তরের সময় পুনরায় কেলাসিত হলে ক্রিস্টালোব্লাস্টিক ফ্যাব্রিক (Crystalloblastic fabric) দেখায় এর মধ্যে সব কেলাসগুলির প্রায় এক সংগে বৃদ্ধি হয়ে থাকে।

রূপান্তরিত পাথরে কেলাসগুলির সীমানা অনিয়মিত (irregular), এজন্য এই কেলাসগুলিকে Xenoblast জেনোব্লাস্ট্ বলা হয়। কোন কোন খনিজের কেলাসগুলি তাদের নিজস্ব আকার সহজে তৈরী করে এবং তাদের উপরিভাগে কেলাসের ফেস (crystal face) দেখা যায় এগুলিকে ইডিওব্লাস্ট্ (Idioblast) বলা হয়। অনেক ক্ষেত্রে বড় একটি কেলাসের মধ্যে অন্য কেলাসের ছোট ছোট দানা সম্পূর্ণ ঘেরা অবস্থায় থাকে। অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে দেখলে মনে হয় যেন কেলাস ছাকনির (Sieve) মত ছিদ্রযুক্ত, এইরূপ কেলাসকে ছাকনির মত গঠনযুক্ত (Sieve structure) বা পয়কিলোব্লাস্টিক (poikilo-blastic) অথবা ডায়াব্লাস্টিক (diablastic) গঠনযুক্ত বলে।

ক্রিস্টালোব্লাস্টিক সিরিজ (Crystalloblastic series) :

রূপান্তরিত পাথরের খনিজগুলিকে এমন ভাবে সাজান যায় যে এই সিরিজের মধ্যের কোন খনিজ এই সিরিজে তার তলায় লিখিত

খনিজের পাশে থাকলে নিজস্ব কেলাসের ফেস (crystal face) তৈরী করতে পারে অর্থাৎ ইডিওব্লাস্টিক হতে পারবে। এজন্য এই সিরিজকে Idioblastic order or series-ও বলা যায়।

রূপান্তরিত পাথরে খনিজের ক্রিস্টালোব্লাস্টিক সিরিজ

[F. Becke (1903) অনুসারে]

রূটিল (Rutile), স্ফীন (sphene), ম্যাগনেটাইট (magnetite), টুরম্যালিন (tourmaline), কায়ানাইট (kyanite), স্টরোলাইট (staurolite), গার্নেট (garnet) এণ্ডালুসাইট (andalusite)

এপিডোট (Epidote), জোইসাইট (zoisite), ফরস্টে-রাইট (forsterite)

পাইরক্সিন (Pyroxene), এমফিবোল (amphiboles), ওলাস্টনাইট (wollastonite)

মাইকা (Mica), ক্লোরাইট (chlorites) ট্যাল্ক (talc), স্টিপনো-মেলান (stipnomelane)

ডলোমাইট (Dolomite), ক্যালসাইট (calcite)

স্কাপোলাইট (Scapolite), করডিয়েরাইট (cordierite), ফেলসপার (felspar)

কোয়ার্টজ (Quartz)

পরফিরোব্লাস্ট (Porphyroblast) :

অনেক রূপান্তরিত পাথরে কোন কোন খনিজ অন্য খনিজ অপেক্ষা বড় কেলাস তৈরী করে—এগুলিকে পরফিরোব্লাস্ট (porphyroblast) বলা হয়। গার্নেট (garnet), কায়ানাইট (kyanite), স্টরোলাইট (staurolite), এণ্ডালুসাইট (andalusite), করডিয়ারাইট (cordi-erite),এলবাইট (albite) ইত্যাদি খনিজগুলি সাধারণতঃ পাথরে পরফিরোব্লাস্ট তৈরী করে (চিত্র 98)। এই খনিজগুলি ক্রিস্টালো-ব্লাস্টিক সিরিজে (crystalloblastic series) উপর দিকে অবস্থিত। এইরূপ বড় কেলাস তৈরীর জন্য খনিজগুলির এ্যাটমিক গঠন যথেষ্ট

উপযোগী, এবং পাথরের মধ্যে ঐ খনিজের উপাদানও সহজলভ্য হওয়া দরকার।

অনেক খনিজ, যেমন মাসকোভাইট, পরে কেলাসিত হয়ে অপর খনিজগুলিকে প্রতিস্থাপন করে, অথবা চারদিক দিয়ে ঘিরে ফেলে নিজে অনেক বড় কেলাস তৈরী করে।

রূপান্তরিত পাথরের গঠন
(Structure of metamorphic rocks)

শিস্টসিটি (Schistosity) **বা পত্রায়ণ/ফোলিয়েশান** (foliation)—রূপান্তরিত হওয়ার ফলে পাথরে যখন অসংখ্য সমান্তরাল পাতের সৃষ্টি হয় তাকে শিস্টসিটি বা ফোলিয়েশান (পত্রায়ণ) বলা হয়। যে সকল খনিজের মধ্যে ক্লিভেজ ভাল তৈরী হয়, সে খনিজগুলি পাতের মত (flaky) কেলাস তৈরী করতে পারে, সেইরূপ দানাগুলি পীঠক আকার (tabular), লাঠির মত (rod-like) বা সূচের মত (needle-like) হতে পারে। এই ধরণের কেলাসগুলি রূপান্তরের সময় shear stress-এর প্রভাবে দিক-নির্দিষ্ট (oriented) হয়, যেমন কেলাসগুলির একই দিকে দ্রাঘন (elongation) দেখায়, অথবা পাতের মত কেলাসগুলি সমান্তরাল ভাবে থাকে তাহলে পাথরে শিস্টসিটি বা পত্রায়ণ দেখা যায়। বর্তমানে শিস্টসিটি ও ফোলিয়েশানের (পত্রায়ণের) মধ্যে পার্থক্য করা হয় না। স্লেট পাথরে যে ক্লিভেজ দেখা যায় তাকে স্লেটী-ক্লিভেজ (slaty-cleavage) বলা হয়। এই ক্লিভেজে মাইকা ও ক্লোরাইটের পাতলা কেলাসগুলি সমান্তরাল ভাবে থাকে। সমাকৃতি (equidimensional) দানাযুক্ত পাথরের গঠনকে গ্রানুলোজ (graunlose) বলা হয়। কোয়ার্টজ, ফেলসপার, পাইরক্সিন, ক্যালসাইট এই রকম সমাকৃতিদানা তৈরী করে। যে খনিজগুলির দানার আকার অনুসারে দিক-নির্দিষ্ট (oriented) থাকে তাকে "Preferred orientation according to external form" বলা হয়। পীঠক আকার (tabular), অথবা পাতের মত (flaky) খনিজগুলি সমান্তরালভাবে থাকলে লিপিডোব্লাস্টিক (lepidoblastic) বলা হয়; এবং সূচের মত বা লাঠির মত লম্বা ধরণের খনিজগুলির দানা সমান্তরাল ভাবে থাকলে নেমাটোব্লাস্টিক (nematoblastic) বলা হয়। খনিজ কেলাসগুলি সমান্তরাল থাকলে পাথরের শিস্টসিটি প্লেনের উপর রেখা দেখা যায়—রেখায়নকে lineation বলা হয়। এই রেখায়ন বহুবিধ হতে পারে যেমন ক্ষুদ্র-ভাঁজের জন্য রেখায়ন (fold axes), একাধিক শিস্টসিটি প্লেনের

সংযোগ রেখা (lines of intersection), বড় লম্বিত রেখায়ন (mullion structures) ইত্যাদি।

পাথরের মধ্যে শিস্টসিটিযুক্ত স্তর ও গ্রানুলোজ স্তর উপর উপর সাজান থাকিলে যে গঠন হয় তাকে নাইসোজ (gneissose) গঠন বলা হয়। সাধারণতঃ কোয়ার্টজ ও ফেলসপার গ্রানুলোজ স্তর ও বায়োটাইট, মাসকোভাইট বা হর্নব্লেন্ড শিস্টসিটিযুক্ত স্তর তৈরী করে।

রূপান্তরিত পাথরের ফ্যাব্রিক :

খনিজ দানার দিকনির্দিষ্টতা (Preferred Orientation)

শিস্টসিটি, শ্লেটী-ক্লিভেজ, রেখায়ন, নাইসোসিটি এই প্রত্যেকটি গঠনে খনিজগুলি একটি বিশেষভাবে বিন্যস্ত থাকে। এক রকম দিক নির্দিষ্ট ভাবে বিন্যাসকে প্রেফার্ড্ অরিয়েন্টেশান (preferred orientation) বলা হয়। অনুবীক্ষণ যন্ত্রের ইউনিভার্সাল স্টেজের (Universal stage)-এর সাহায্যে বিভিন্ন খনিজের বৈশিষ্ট্য অনুসারে কেলাসের বিন্যাস পরীক্ষা করা যায়, যেমন কোয়ার্টজের [0001] (c-axis), মাইকার [001] ক্লিভেজ হর্নব্লেন্ডের (c-axis) ইত্যাদি। এইগুলির দিক-নির্দিষ্টতার Stereographic projection করলে পেট্রোফ্যাব্রিক (Petrofabric)-এর চিত্র তৈরী করা যায় (Turner and Verhoogen, 1960, pp. 624-627)। সৃষ্টি হওয়ার সময় থেকে কেলাসগুলির উপর চাপ ও পীড়নের কোন চিহ্ন থাকলে দিক-নির্দিষ্টতা থেকে তা জানা সম্ভব হয় ও কি ভাবে এই চাপ বা পীড়ন হয়েছিল তার নির্দেশ পাওয়া যায়।

নিম্নলিখিত উপায়ে প্রেফারড-অরিয়েন্টেশান তৈরী হতে পারে (1) কেলাসের চেপ্টা হওয়া, বক্র-হওয়া (gliding plane-এর উপর চলাচলের ফলে) অথবা দানাগুলির একটির সঙ্গে অপরটির অবস্থান পরিবর্তন (যেমন ঘুরে যাওয়া) ইত্যাদির ফলে। (2) কেলাসের উপর চাপ কার্যকরী হওয়াতে যেদিকে চাপ আসে সেদিক থেকে পদার্থ দ্রবীভূত হয়ে কেলাসের যে ধারে চাপ অপেক্ষাকৃত কম সেই দিকে দ্রবণ থেকে অধঃক্ষেপিত হতে পারে। এজন্য কেলাসগুলি কম চাপযুক্ত দিকে দ্রাঘিত হতে পারে। কেলাসগুলি প্রথম সৃষ্টির সময় চাপ সর্বোপেক্ষা যে দিকে কম সেই দিকে কেলাসের দ্রাঘন থাকে, এইভাবে দিক-নির্দিষ্ট হয়ে সৃষ্টি হতে পারে। (আরও তথ্য পাওয়া যাবে Turner & Verhoogen, 1960, pp. 611-620)।

রেলিক ফ্যাব্রিক (Relic fabric) :

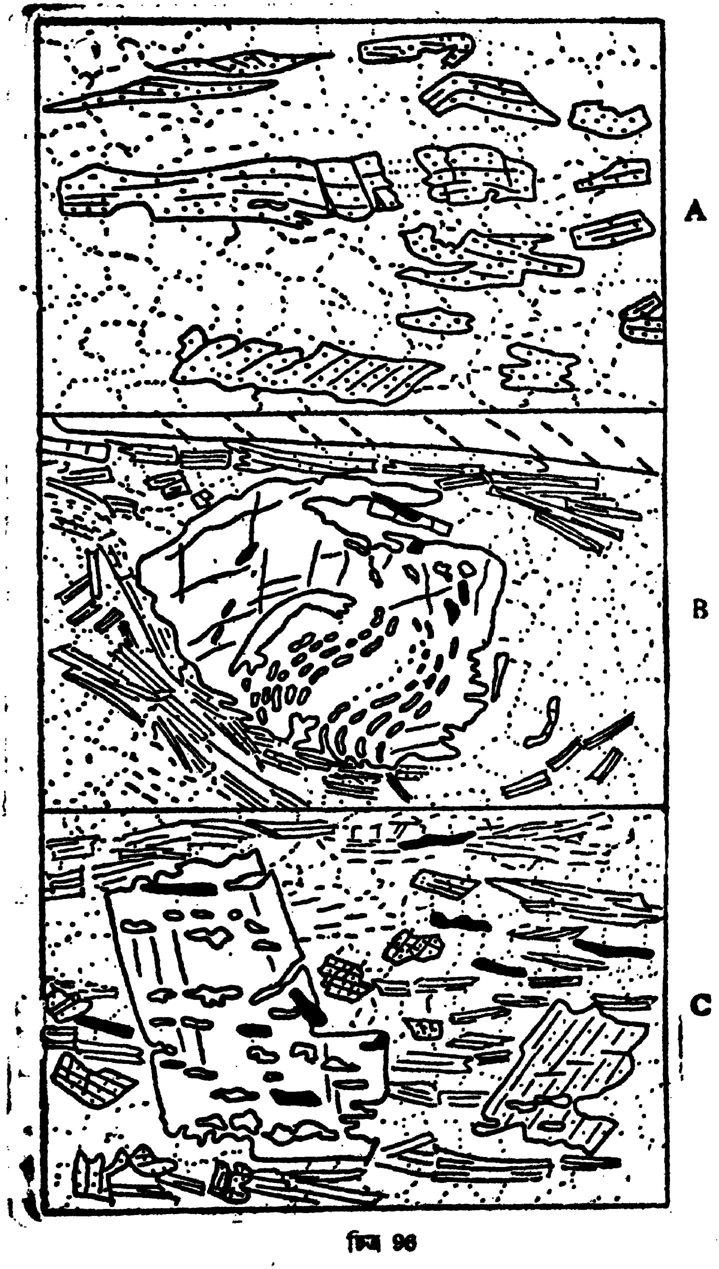
আদি পাথর (অর্থাৎ যে পাথর রূপান্তরিত হয়ে নতুন রূপান্তরিত পাথর তৈরী হয়েছে) তার গ্রথন নতুন পাথরে চিহ্নাবশেষ (relic)

চিত্র 96 A. কায়ানাইটের কেলাসগুলি ভাঁজযুক্ত ও বিচূর্ণিত হয়েছে এবং আনডুলেটারী এক্সটিংকশান দেখায়—ভূআলোড়নের পূর্বে কেলাসিত (Pretectonic crystallization)। (×20)। কায়ানাইট-কোয়ার্টজ শিস্ট পাথর। সম্বলপুর, উড়িষ্যা।

চিত্র 96 B. গার্নেট পরিফয়োব্লাস্ট—কেলাসনের সময় ভূআলোড়নের ফলে ঘুরে গেছে এবং তার মধ্যে আবদ্ধ কোয়ার্টজ ও আয়রণ ওর-এর ছোট দানা (ইনক্লুশান) -গুলি S—আকারে বিন্যস্ত আছে—গার্নেটের ভূআলোড়নের সমসাময়িক কেলাসন (Paratectonic crystallization)। গার্নেট—মাইকা শিস্ট পাথর। কার্শিয়াং, দার্জিলিং হিমালয় (পশ্চিমবঙ্গ)। (×20)

চিত্র 96C. স্টরোলাইট ও কায়ানাইটের পরফিরোব্লাস্টগুলির মধ্যে দিয়ে পাথরের শিস্টোসিটির সমান্তরাল রেখায় কোয়ার্টজ ও আয়রণ ওর-এর ছোট দানাগুলি আবদ্ধ অবস্থায় সজ্জিত আছে এবং ঐ পরফিরোব্লাস্টগুলি শিস্টোসিটি সমতলের সঙ্গে যে কোনও দিকে (বিভিন্ন কোণ করে) থাকায় বোঝা যায় যে স্টরোলাইটও কায়ানাইটের কেলাসগুলি ভূআলোড়নের পরে (Post-tectonic crystallization) তৈরী হয়েছে। (×20)

স্টরোলাইট—কায়ানাইট—মাইকা শিস্ট পাথর। পুরুলিয়া জেলা।



চিত্র 96

হিসাবে থেকে যেতে পারে, একে পালইম্পসেস্ট্ (palimpsest) গঠন বা রেলিক ফ্যাব্রিক (Relic fabric) বলা হয়।

সাধারণতঃ চিহ্নাবশেষ গ্রথনগুলির জন্য blasto—এই শব্দাংশ আগে বসিয়ে গ্রথনের নামগুলি ইংরাজীতে করা হয়। আদি পাথর পালালিক হলে তার চিহ্ন, যেমন গোলাকার বালি দানাযুক্ত পাথর রূপান্তরিত হওয়ায় পরেও ঐ পালালিক গ্রথন চেনা গেলে blasto-psammitic বলা হয়, কংগ্লোমারেটের মত চিহ্ন থাকলে blastopsephitic, এবং সূক্ষ্মদানা পলি, যেমন শেল পাথরের মত গ্রথন রূপান্তরিত পাথরে চিহ্নাবশেষ থেকে গেলে blastopelitic বলা হয়।

আগ্নেয় পাথর যথা ডলেরাইটের অফিটিক গ্রথন রূপান্তরিত এমফিবোলাইটের মধ্যে সচরাচর দেখা যায়, এই চিহ্নাবশেষকে বলা হয় blastophitic ; সেইরূপ পরফিরিটিক্ গ্রথন চিহ্নাবশেষরূপে থাকলে blastoporphyritic।

ভূআলোড়নের সময়ের সঙ্গে রূপান্তরিত পাথরের কেলাসনের সময়ের সম্পর্ক (Time relation between crystallization and deformation in metamorphic rocks). ঃ

ভূ-আলোড়নের সময় রূপান্তরিত পাথরে ছোট গঠনগুলি তৈরী হতে পারে, যেমন ক্লীভেজ, রেখায়ন বা লিনিয়েশান, ও ছোট ভাঁজ। এই রকম গঠন থাকলে তার সঙ্গে রূপান্তরিত পাথরে খনিজ দানার বয়সের সম্পর্ক স্থির করা যেতে পারে।

মাইকা কেলাসগুলি খনিজ সৃষ্টির পর ভূ-আলোড়নের জন্য বক্র হয়ে যেতে পারে, আরও শক্ত খনিজ সেই অবস্থায় বিভঙ্গযুক্ত (fracturd) হয়ে যায় (ছবি—96A), পরফিরোব্লাস্টদানাগুলি সবসুদ্ধ ঘুরে যেতে পারে। পরফিরোব্লাস্টের মধ্যে খনিজের ছোট দানা চারদিকে ঘেরা অবস্থায় থাকতে (inclusions) পারে ; এগুলি সাধারণতঃ পত্রায়ণের সঙ্গে সমান্তরালভাবে দ্রাঘিত থাকে ; পরফিরোব্লাস্ট ঘুরে গেলে এই ইনক্লুশানগুলি থেকে যে দ্রাঘিত (elongated) রেখা পাওয়া যায় তার সঙ্গে পত্রায়ণ আর সমান্তরাল থাকে না।

উপরোক্ত সব সাক্ষ্যগুলি থেকে দেখা যায় যে কেলাসনের পর ভূআলোড়ন হয়েছে (অর্থাৎ post-crystalline deformation)

ভূআলোড়নের সঙ্গে সঙ্গে কেলাসন (paracrystalline deformation) হতে থাকলে পাথর ভাঁজ হতে থাকা অবস্থায় কেলাসন চলতে পারে। এ রকম অবস্থায় খনিজগুলি চাপ ও পীড়নের ফলে দিক-নির্দিষ্টভাবে সৃষ্টি হতে পারে, এবং চাপ ও পীড়নের চিহ্ন কেলাস-

গুলির (যেমন মাইকা) কোন-কোনটার উপর থাকবে এবং অপরগুলির উপর নাও থাকতে পারে। পরফিরোব্লাস্ট দানাগুলি বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে ঘুরে যেতে পারে এবং তার ফলে কোন-কোন খনিজের মধ্যে (যেমন গার্নেট স্টারোলাইট, ইত্যাদি) ঘিরে থাকা ছোট ছোট খনিজদানা দিয়ে যে রেখা দেখা যায় তা আর একই দিকে দ্রাঘিত থাকে না, ঘুরে যাওয়ার ফলে চক্রাকারে বিন্যস্ত থাকে (চিত্র—96B)। গার্নেট কেলাসগুলি শিস্ট পাথরে খুব সুন্দরভাবে এইরূপ চক্রাকারে বিন্যস্ত trails of inclusions থেকে ভূআলোড়নের সাক্ষ্য দেয়। এই trailগুলি চক্রাকারে না হয়ে সাধারণতঃ S আকারে থাকে। (চিত্র—96B)।

কেলাসনের আগে ভূআলোড়ন (Precrystalline deformation) হলে খনিজগুলি পাথর স্থির হয়ে থাকা অবস্থায় কেলাসিত হয়। আগে ভূআলোড়নের ফলে যে পত্রায়ণ আগে সৃষ্টি হয়েছে নতুন কেলাসগুলি তৈরী হওয়ার সময় ঐ রেখাম্বারা পরিচালিত হয়ে ঐ দিকেই দ্রাঘিত হতে পারে, অথবা ঐ পত্রায়ণের সঙ্গে সম্পূর্ণ সম্পর্কহীন হয়ে যেকোনও দিকে দ্রাঘিত থাকতে পারে (চিত্র—96C)। পত্রায়ণের ভাঁজ থাকলে মাইকা কেলাসগুলি ভাঁজের উপরে থাকলেও বাঁকা অবস্থায় থাকে না। এই রকম রূপান্তরিত পাথরে পরে কেলাসন হলে পরফিরোব্লাস্টগুলির মধ্যে ঘিরে থাকা ছোট দানার দ্রাঘণ বা বিন্যাস (trails) থেকে যে রেখা পাওয়া যায় তা বড় দানার চার পাশের জমির গঠনকেই দেখায়, এই বিন্যাসকে হেলিসাইটিক গ্রথন (helicitic texture) বলা হয়।

ষোড়শ অধ্যায়

কম চাপযুক্ত ও উচ্চ চাপযুক্ত রূপান্তর

(Low Pressure and High Pressure Metamorphism)

উত্তাপ-জনিত রূপান্তর ও আঞ্চলিক রূপান্তরের বিভিন্ন ফেসিস্

(Different facies of thermal and regional metamorphism)

রূপান্তরের ফেসিস্ আলোচনায় কম চাপযুক্ত (যথা, 200 এ্যাট্মস্ফিয়ার্ চাপ) অবস্থায় যে ফেসিসগুলির উৎপত্তি হয় সেগুলিকে বলা হয় নীচু চাপযুক্ত ফেসিস্। এগুলি সংস্পর্শ রূপান্তর বা উত্তাপ-জনিত রূপান্তরের ফলে সৃষ্টি হয়, এই রূপান্তরে তাপাঙ্ক খুব কম থেকে 1000°C পর্যন্ত হতে পারে। আঞ্চলিক রূপান্তরের ক্ষেত্রে তাপের সঙ্গে চাপও বাড়ে এজন্য চাপ সাধারণতঃ 3000—4000এ্যাট্মস্ফিয়ারের মধ্যে থাকে। তুলনামূলক একটি ছক এখানে দেওয়া হল।

নীচু চাপযুক্ত উত্তাপ-জনিত রূপান্তর	উচ্চ চাপযুক্ত আঞ্চলিক রূপান্তর
এলবাইট-এপিডোট হর্ণফেলস ফেসিস :	**গ্রীনশিস্ট ফেসিস :**
(ক) কোয়ার্টজ — এলবাইট — মাসকোভাইট — বায়োটাইট	(ক) কোয়ার্টজ — এলবাইট — মাসকোভাইট (এবং বায়োটাইট)
(খ) এলবাইট — এপিডোট — একটিনোলাইট — ক্লোরাইট	(খ) এলবাইট — এপিডোট — একটিনোলাইট — ক্লোরাইট
হর্ণব্লেন্ড হর্ণফেলস ফেসিস :	**এমফিবোলাইট ফেসিস :**
(ক) কোয়ার্টজ — প্লাগীওক্লেস — মাইক্রোক্লীন — বায়োটাইট — মাসকোভাইট	(ক) কোয়ার্টজ — প্লাগীওক্লেস — মাসকোভাইট — বায়োটাইট — এলম্যানডিন গার্নেট
(খ) প্লাগীওক্লেস — হর্ণব্লেন্ড	(খ) প্লাগীওক্লেস — হর্ণব্লেন্ড
পাইরক্সিন হর্ণফেলস ফেসিস :	**গ্রানুলাইট ফেসিস :**
(ক) কোয়ার্টজ — প্লাগীওক্লেস — অর্থোক্লেস — কর্ডিয়েরাইট — এন্ডালুসাইট	(ক) কোয়ার্টজ — অর্থোক্লেস প্লাগীওক্লেস — গার্নেট — সিলিম্যানাইট
(খ) প্লাগীওক্লেস — ডাইঅপসাইড — হাইপারস্থিন	(খ) প্লাগীওক্লেস — গার্নেট — হাইপারস্থিন — কোয়ার্টজ
সানিডিনাইট ফেসিস :	**একলগাইট ফেসিস :**
(ক) ট্রিডিমাইট — কর্ডিয়েরাইট মুলাইট — কাচ	(ক) এই উপাদানের পাথর পাওয়া যায় না
(খ) প্লাগীওক্লেস — ডাইঅপসাইড — হাইপারস্থিন	(খ) ওমফ্যাসাইট — গার্নেট

উদাহরণ স্বরূপ নিম্নলিখিত পাথরের খনিজ সমাবেশ কোন ফেসিসে কিরূপ তা উপরের ছকে দেওয়া হয়েছে।

(ক) কর্দম জাতীয় (Pelitic) পলির রূপান্তর

(খ) ম্যাফিক আগ্নেয় (Mafic igneous) পাথরের রূপান্তর

[F. J. Turner and J. Verhoogen (1960) এবং K. Krauskopf (1967) এর বিবরণ অনুসারে]

বিচুর্ণন অথবা ক্যাটাক্লাস্টিক রূপান্তর
(Cataclastic metamorphism)

নীচু চাপযুক্ত অঞ্চলে ও নিম্ন তাপাঙ্কে এক স্তরের উপর অন্য স্তর থ্রাস্টেড্ (thrusted) হলে, অথবা চ্যুতিযুক্ত এলাকাতে উচ্চ চাপে চ্যুতির দুই দিকের পাথর চলাচল করলে শীয়ার স্ট্রেস (shear stress) উৎপন্ন হয় ও খনিজদানাগুলি খণ্ডিত ও চূর্ণ হয়ে যায় ও অনেক ক্ষেত্রে পীড়নের তীব্রতা বেশী হলে তাপাঙ্ক বেশী হতে পারে এজন্য যে রূপান্তর ঘটে তাকে ক্যাটাক্লাস্টিক রূপান্তর বলে।

ভূত্বকের গভীর অঞ্চলে এই জাতীয় রূপান্তর ভূতাপের ক্রমোচ্চতার জন্য আঞ্চলিক বা ডাইনামোথারম্যাল রূপান্তরের সঙ্গে মিলিত হয়ে পড়ে।

ক্যাটাক্লাসিস ছোটদানাযুক্ত পাথরের উপর কার্যকরী হলে ক্রাস-ব্রেকসিয়া (Crush-breccia) তৈরী হয়; বড় দানাযুক্ত পাথর থেকে দানাগুলি গুঁড়া হয়ে যাওয়ার জন্য মাইক্রো-ব্রেকসিয়া (micro-breccia), ফ্লেসার পাথর (flaser rock) ও মাইলনাইট (mylonite) তৈরী হয়। গভীর ভূত্বকে বেশী তাপ ও চাপযুক্ত অঞ্চলে পাথরগুলিতে সাধারণতঃ প্লাস্টিক ফ্লোয়েজ হয় ও তারা পুনরায় কেলাসিত হয়। অগভীর অঞ্চলে নরম খনিজগুলি ঐ ভাবে বিকৃত হলেও শক্ত ও ভঙ্গুর (brittle) খনিজগুলি খণ্ডিত ও চূর্ণ হয়। এজন্য গ্রানাইট বা কোয়ার্টজাইটে বিভঙ্গের উৎপত্তি হয় ও চূর্ণ হয়ে যায়, অথচ ঐরূপ চাপে ও তাপাঙ্কে অন্য পাথর যেমন চুনাপাথর, কর্দম পাথর বা বেসিক আগ্নেয় পাথর, রূপান্তরের সময় তাদের মধ্যে কঠিন অবস্থায় প্রবাহ বা ফ্লোয়েজ হয় ও পুনরায় কেলাসন হয়। যখন বিভিন্ন প্রকার পাথর স্তরায়িত থাকে চাপের ফলে বিভিন্ন স্তরের আকৃতি বিভিন্ন রূপ হয়। শক্ত কোয়ার্টজাইট স্তরে ভাঁজ ও বিভঙ্গ হয় এবং পাথর গুঁড়া হয়ে যায় কিন্তু সেই সঙ্গে মার্বল, বা স্লেট পাথরে

ক্লীভেজ উৎপন্ন হয়, ফোয়েজ হয় ও দানাগুলির পুনেরায় কেলাসন হয় (চিত্র 82)।

মাইলনাইট (Mylonite) : ফল্ট বা চ্যুতির দুই পাশের পাথর পরস্পরের গায়ে অত্যধিক চাপে চলাচল করলে পাথরে দানাগুলি গুঁড়া হয়ে যায়। এই গুঁড়াগুলির মধ্যে আদি পাথরের গুঁড়া না হওয়া ছোট টুকরাগুলি থাকে (চিত্র 85)। তাদের দ্রাঘণ পাথরের চলাচলের সমতলের দিকে লম্বিত থাকে। এদের পরফিরোক্লাস্ট (Porphyroclast) বলে। পাথরের উপাদানে কোয়ার্টজের মধ্যে যে স্ট্রেন্ (strain) হয় অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে তার দানার মধ্যে আনডুলেটারী এক্সটিংকশান (undulatory extinction) দেখা যায়। কোয়ার্টজের দানাগুলি ধারে এত চূর্ণ হয়ে যায় যে পাথর অত্যন্ত সূক্ষ্ম দানাযুক্ত শক্ত চার্ট বা ফ্লিন্ট্ (flint) পাথরের মত দেখায়।

সিউডোট্যাকীলাইট (Pseudotachylite) : পাথর চূর্ণ হওয়ার প্রক্রিয়া আরও তীব্র হলে পাথরের দানাগুলি এক একটি সমতলে এত বেশী গুঁড়া হয়ে যায় যে একটি কাল পদার্থ, (যার প্রকৃতি ঠিক কাঁচের মত), ঐ সমতলে পাতলা আস্তরণের মত থাকে। কাল কাঁচের মত হওয়ায় এই পাথরকে সিউডোট্যাকীলাইট বলে। কোয়ার্টজ ও ফেলসপারযুক্ত গ্রানাইট বা বালি পাথর জাতীয় আদি পাথর থেকে এই-রূপে অনেক মাইলনাইট সৃষ্টি হয়। অনেক আগ্নেয় অবয়বে উদবেধী পাথর ম্যাগমার থেকে শেষের দিকে অনুপ্রবেশ করতে থাকলে পূর্বে কেলাসিত খনিজগুলি গুঁড়া হয়ে যেতে পারে, এই প্রক্রিয়াতে প্রোটো-ক্লাসটিক্ গ্র্যানুলেশান (protoclastic granulation) হয়।

ক্যাটাক্লাসাইট (Cataclasite) : যে পাথরগুলির মাইলনাইটের থেকে কম ক্যাটাক্লাস্টিক রূপান্তর হয়েছে তাদের দানা মাইলনাইটের থেকে কম গুঁড়া আকারে দেখায়। এই পাথরগুলিতে আদি পাথরের খনিজ ও গ্রথন সহজে চেনা যায়। এর মধ্যে আছে ফ্লেসার গ্যাব্রো (Flaser gabbro) ও ফ্লেসার গ্রানাইট (Flaser granite)। ক্যাটা-ক্লাস্টিক মার্বলে (Cataclastic marble) কার্বনেট খনিজ ক্যালসাইট (calcite) বা ডলোমাইট (dolomite) দানা খুব বেশী টুইনিং [কেলাসের (0112) সমতলে] দেখায় ও আনডুলেটরী এক্সটিংকশান দেখায়।

ফাইলনাইট (Phyllonite) : এই পাথরের প্রকৃতি মাইলনাইটের মত, কিন্তু অত্যন্ত ছোট দানার হওয়ায় ফিলাইটের মত দেখতে এজন্য এদের ফাইলনাইট (phyllite-mylonite=phyllonite) নামকরণ হয়েছে। এই পাথরের ছোট দানা আদি পাথরের বড় দানা চূর্ণ হয়ে যাওয়ার

ফলে সৃষ্টি হয়েছে। এর মধ্যে S-plane-গুলির উপর ছোট ছোট ভাঁজ থাকতে পারে; এই ভাঁজের বাহুগুলি (limb of fold) পীড়নের জন্য ছিঁড়ে গিয়ে নতুন S-plane তৈরী করে। এই ভাবে ফাইলনাইটের শিস্টসিটির উৎপত্তি হয়। শিস্টসিটি প্লেনগুলি লেন্সের আকারে থাকতে পারে। কোয়ার্টজ লেন্সের মত আকারে পুনরায় কেলাসিত দানার সমাবেশ তৈরী করতে পারে।

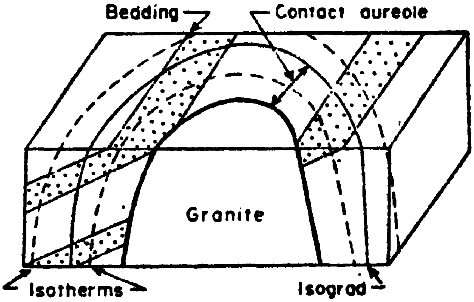
ফাইলনাইটগুলি অনেক অরোজেনিক এলাকাতে dislocation metamorphism বা thrusting এর চিহ্ন হিসাবে থাকে। আগে উচ্চ মাত্রায় কেলাসিত পাথর ফাইলনাইট হয়ে যেতে পারে, তখন একে প্রতীপ—অর্থাৎ পশ্চাৎগামী রূপান্তর (retrogressive metamorphism)-এর মধ্যে ধরতে হবে।

উত্তাপ-জনিত রূপান্তর (Thermal metamorphism), বা সংস্পর্শ রূপান্তর (Contact metamorphism)

আগ্নেয় অনুপ্রবেশ হলে স্থানীয় পাথরের তাপাঙ্ক বৃদ্ধি পায়, এজন্য আগ্নেয় (গ্রানাইট, গ্যাব্রো, ডলেরাইট ইত্যাদি) অবয়বের চারদিকে বলয় আকারে (aureole) উত্তাপ-জনিত রূপান্তর (Thermal metamorphism) অথবা সংস্পর্শ রূপান্তর (contact metamorphism) হয় (চিত্র 97)। এই রূপান্তরের প্রধান কারণ উত্তাপ। তবে পাথরের দানার মধ্যবর্তী জলীয় দ্রবণের উপস্থিতি এই রূপান্তরকে সাহায্য করে।

আগ্নেয় অবয়বের মধ্যে পাথরের খণ্ড থাকলে ম্যাগমার উচ্চ তাপাঙ্কে তার রূপান্তর ঘটে এবং কিছু গলিত হতেও পারে সুতরাং এই রূপান্তর সর্ব্বোচ্চ তাপে হয়। তার মধ্যে সানিডিন (sanidine) জাতীয় পটাশ ফেলসপার, ট্রিডিমাইট (Tridymite) (SiO_2) এবং কাঁচ উপস্থিত থাকে। এই পাথর সানিডিনাইট ফেসিসের (Sanidinite facies) অন্তর্ভুক্ত। আগ্নেয় পাথরের খুব কাছে স্থানীয় পাথর রূপান্তরিত হয়ে পাইরক্সিন হর্ণফেলস ফেসিসের (Pyroxene hornfels facies) অন্তর্ভুক্ত খনিজ সমাবেশ দেখায়। সবচেয়ে দূরের রূপান্তরিত পাথরগুলি এলবাইট-এপিডোট হর্ণফেলস (Albite-epidote hornfels) facies এর অন্তর্ভুক্ত। মাঝামাঝি অবস্থানে থাকে হর্ণব্লেন্ড-হর্ণফেলস ফেসিসের (Hornblende hornfels facies) পাথর। খনিজ সমাবেশ তুলনা করলে বলা যায় যে এলবাইট-এপিডোট হর্ণফেলস, ফেসিস আঞ্চলিক রূপান্তরের গ্রীনশিস্ট ফেসিসের মত হর্ণ-

ব্লেন্ড হর্ণফেলস ফেসিস এম্ফিবোলাইট ফেসিসের মত, ও পাইরক্সিন হর্ণ-ফেলস ফেসিস গ্রানুলাইট ফেসিসের মত। সংস্পর্শ রূপান্তরের ফলে যে পাথর তৈরী হয় তাদের মধ্যে হর্ণফেলস্ (Hornfels) একটি গুরুত্ব-পূর্ণ পাথর। এই পাথরে খনিজগুলি কোন দিক নির্দিষ্টতা (orientation) দেখায় না অর্থাৎ লম্বা খনিজ দানাগুলিও যে কোনও দিকে দ্রাঘিত থাকে। এই পাথর গুলিতে কোয়ার্টজ, ফেলসপার, বায়োটাইট মাসকোভাইট, পাইরক্সিন, গার্নেট, ক্যালসাইট থাকে। এণ্ডালুসাইট,



চিত্র 97

একটি আগ্নের অবয়বের (এখানে গ্রানাইটের) উত্তপ্ত অবস্থায় অনুপ্রবেশের জন্ত চারিদিকে স্থানীয় পাথরে তাপাঙ্ক বৃদ্ধি পায়—চিত্রে আইসোথারম দেখান হয়েছে। এই কারণে যে সংস্পর্শ রূপান্তর (উত্তাপ জনিত রূপান্তর) ঘটে তার জন্ত রূপান্তরের তীব্রতা সূচক খনিজ তৈরী হতে পারে—চিত্রে এই রকম একটি আইসোগ্রাড দেখান হয়েছে।

কর্ডিয়েরাইট, গার্নেট এবং ভেসুভিয়ানাইট (vesuvianite) খনিজ-গুলি বড় পরফিরোব্লাস্ট তৈরী করে। আদি পাথরের স্ট্রাকচার অথবা টেক্সচার, যথা পাললিক পাথরের স্তরায়ণ ও ক্লাস্টিক টেক্সচার ভলকানিক পাথরের এমিগডালয়ডাল স্ট্রাকচার ও পরফিরিটিক গ্রথন এই জাতীয় রূপান্তরিত পাথরে থেকে যেতে পারে।

স্পটেড স্লেট (spotted slate) বা স্পটেড হর্ণফেলস (spotted hornfels) রূপান্তরিত পাথরের এলাকার মধ্যে বাহিরের দিকের অংশে, অর্থাৎ যেখানে বেশী তাপাঙ্ক ছিল না—সেই রকম জায়গায় স্পটেড স্লেট বা স্পটেড হর্ণফেলস পাথরগুলি পাওয়া যায়। গ্রাফাইটের বা ম্যাগনেটাইটের গুড়ার জন্য অথবা মাইকাগুলি বড় দানা তৈরী করার জন্য এই রকম দাগযুক্ত স্পটেড দেখায়। কর্দম পাথর থেকে তৈরী (পেলিটিক) হর্ণফেলসগুলিতে এণ্ডালুসাইট ও করডিয়েরাইট গুরুত্বপূর্ণ খনিজ এবং পরফিরোব্লাস্ট্ তৈরী করতে পারে;

আরও উচ্চ তাপাঙ্কে, আগ্নেয় অবয়বের কাছে সিলিম্যানাইট থাকতে পারে। বাহিরের থেকে বোরনযুক্ত ফ্লুইডের অনুপ্রবেশের জন্য টুরম্যালিন (tourmaline) তৈরী হতে পারে।

বালিপাথর, অথবা এসিড ভলক্যানিক পাথর থেকে উত্তাপজনিত রূপান্তরের ফলে কোয়ার্টজো-ফেলসপাথিক হর্ণফেলস তৈরী হয়। এই হর্ণফেলসে কোয়ার্টজ ও ফেলসপার গ্রানোব্লাস্টিক জমি তৈরী করে। এই পাথরে বায়োটাইট, এ্যান্ডালুসাইট, করডিয়েরাইট, কোনও কোনও ক্ষেত্রে মাসকোভাইট থাকে। হর্ণব্লেন্ড বিরল ক্ষেত্রে পাওয়া যায়।

সংস্পর্শ রূপান্তরিত মার্বল :

চুনাপাথর ও ডলোমাইট পাথরের উত্তাপজনিত রূপান্তরের ফলে সমাকৃতি ক্যালসাইটের গ্রানোব্লাস্টিক মার্বল তৈরী হয়। রূপান্তরিত হওয়ার সময় অপাঙ্ক বেশী হওয়ার ফলে এই শ্রেণীর পাথরে কোন খনিজ সৃষ্টি হবে সিলিকা অতিরিক্ত আছে কিনা তার উপর তা নির্ভর করে। সিলিকা থাকলে—ওলাস্টনাইট, ডাইঅপসাইড, ট্রেমোলাইট ও ট্যাল্ক তৈরী হয়। সিলিকা অতিরিক্ত না থাকলে ফরস্টেরাইট (Forsterite), হিউমাইট জাতীয় (Humite group) খনিজ, পেরিক্লেস (Periclase), ব্রুসাইট (Brucite), স্পিনেল (Spinel), কোরান্ডাম (Corundum), ও কতকগুলি বিরল Ca-Mg silicate পাওয়া যায় : যেমন লারনাইট (larnite), স্পারাইট (spurrite), টিলিয়াইট (tilleyite) ইত্যাদি। N. L. Bowen (1940) এর গবেষণার ফলে জানা গেছে যে এই খনিজগুলি চুনাপাথর ও ডলোমাইটের উত্তাপজনিত রূপান্তরের ফলে একটি বিশেষ ক্রম অনুসারে বিন্যস্ত থাকে, এই ক্রমকে Bowen 13টি ধাপে (Steps) বিভক্ত করেছেন। এই খনিজগুলি যে সব বিক্রিয়ার ফলে তৈরী হয় সেগুলি Pco_2 এবং তাপাঙ্কের উপর নির্ভরশীল। এজন্য Pco_2 পরিবর্তন না হলে এই বিক্রিয়াগুলির সাহায্যে তাপাঙ্ক আন্দাজ করা যায়।

স্কারন (Skarn)

ক্যাল্ক্ সিলিকেট পাথর রূপান্তরিত হওয়ার সময় Si, Al, Fe এবং Mg অনুপ্রবেশ করলে, অর্থাৎ মেটাসোম্যাটিজম্ হলে, স্কারন (skarn) পাথর তৈরী হয়। সাধারণতঃ স্কারন আগ্নেয় অবয়ব ও স্থানীয় পাথরের মধ্যে অবস্থিত থাকে। স্কারনের মধ্যে ডাইঅপসাইড-হেডেনবার্জাইট জাতীয় পাইরক্সিন, গ্রসুলারাইট এন্ড্রাডাইট গার্নেট, ওলাস্টনাইট থাকে।

কম মাত্রার আঞ্চলিক রূপান্তরিত পাথর : স্লেট, ফিলাইট ও শিস্ট

(Low grade regional metamorphic rocks : Slate, Phyllite and Schist)

শিস্ট ও তার মত পত্রায়ণযুক্ত (foliated) পাথরগুলি কম মাত্রার আঞ্চলিক রূপান্তরিত পাথর। এদের রূপান্তর গ্রীনশিস্ট ফেসিসের অন্তর্ভুক্ত, তবে অন্য শিস্ট পাথর উচ্চ মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরে শ্রেণীভুক্ত হতে পারে—সেগুলি পরবর্তী অধ্যায় আলোচনা করা হবে।

এই পাথরগুলির মধ্যে আছে পেলিটিক বা কর্দম জাতীয় পলির রূপান্তর থেকে তৈরী স্লেট, ফিলাইট, সূক্ষ্মদানাযুক্ত শিস্ট পাথর, রূপান্তরিত সিল্টস্টোন, বালিপাথর (গ্রেওয়াকী, সাবগ্রেওয়াকী, আরেনাইট—সমেত), চুনাপাথর থেকে তৈরী মার্বল, ব্যাসল্ট বা এ্যাণ্ডেসাইট থেকে তৈরী গ্রীনশিস্ট, পেরিডোটাইট বা সার্পেনটিন থেকে তৈরী ম্যাগনেশিয়ান শিস্ট।

স্লেট পাথরগুলির মধ্যে খুব স্পষ্ট বিদার্যতা (fissility) থাকে—তাকে বলা হয় স্লেটি ক্লিভেজ (slaty cleavage) এটিকে S-plane বলা যায়। এই ক্লিভেজের মধ্যে অভ্র (mica) ও ক্লোরাইটের (chlorite) কেলাসগুলি দিকনির্দিষ্টতা (orientation) দেখায়। স্লেটি ক্লিভেজ পলির আদি স্তরায়ণের (bedding) চিহ্নকে যে কোনও ভাবে কেটে যেতে পারে। এই রকম পাথরে আর একরকম ক্লিভেজ S-plane আছে যা তৈরী হওয়ার সময় পূর্বে সৃষ্ট মাইকা বা ক্লোরাইট কেলাসগুলি ভূ-আলোড়নের ফলে বেঁকে বা মোচড়ে যায়। এই ভাবে strain slip cleavage বা fracture cleavage তৈরী হয়। আমরা পাথরের সর্বপ্রকার ক্লিভেজ ও ফোলিয়েশানকে পত্রায়ণ বা ফোলিয়েশান (foliation) বলতে পারি।

স্লেট পাথরের থেকে আরও বেশী তাপাঙ্কে, বা বেশী সময়ব্যাপী রূপান্তর হলে অথবা ফ্লুইডের (প্রধানতঃ জল) কার্যকারীতা বেশী হলে ফিলাইট পাথর তৈরী হয়। এই পাথরে অভ্র আরও বড় কেলাস তৈরী করে সেইজন্য পাথরের উপর সিল্কের মত চাকচিক্য দেখা যায়। এই পাথরের মধ্যে সাদা অভ্র, হালকা-সবুজ ক্লোরাইট, কোয়ার্টজ, গ্রাফাইট, এপিডোট, আয়রণ ওর থাকে। আরও বেশী বড় দানা কেলাসিত হলে শিস্ট পাথর তৈরী হয়। অভ্র, ক্লোরাইট, কোয়ার্টজ-এর সঙ্গে এলবাইট, ফেলসপার, এপিডোট, ক্যালসাইট, বায়োটাইট

ক্লোরিটয়েড (Chloritoid or Ottrelite) শিস্ট পাথরের সাধারণ খনিজ। কোন কোন ক্ষেত্রে Mnযুক্ত গার্নেট (spessartite), বায়োটাইট, বা ক্লোরাইট ফিলাইট অথবা এইরূপ শিস্টে থাকতে পারে। তবে Barrow-র গার্নেট 'জোনে almandine গার্নেট (Fe-যুক্ত) থাকে (চিত্র 98)। মাইকা শিস্টের মধ্যে এই এলম্যানডিন গার্নেট তৈরী হলে রূপান্তরিত পাথরকে গার্নেট জোনের অন্তর্ভুক্ত করা হয়; ফেসিস-শ্রেণী বিভাগ অনুসারে Eskola-র এপিডোট এমফিবোলাইট ফেসিসের অন্তর্ভুক্ত হবে।

ক্যালসাইট বা এরাগোনাইটযুক্ত চুনাপাথর থেকে মার্বল বা ক্যাল্ক্-

চিত্র 98

গার্নেট পরফিরোব্লাস্টযুক্ত মাইকা শিস্ট পাথর। ইডিওব্লাষ্টিক গার্নেট, মাইকা ও কোয়ার্টজের তৈরী ভূমিতে আছে। (আণুবীক্ষনিক চিত্রের প্রস্থ = 1.1 মিঃ মিঃ)। অণ্টেরিও প্রদেশ, কানাডা। (D. M. Carmichael, 1970 অনুসারে)।

শিস্ট তৈরী হয়, যার মধ্যে কোয়ার্টজ, এলবাইট, মাসকোভাইট (অভ্র) এপিডোট, স্ফীন, ক্লোরাইট ইত্যাদি থাকে। এই রকম মাত্রার গ্রীনশিস্ট ফেসিসে রূপান্তরিত পাথরে ক্যালসাইট, ডলোমাইট ট্রেমোলাইট থাকে। এপিডোট এমফিবোলাইট ফেসিসের পাথরে গ্রসুলারাইট (grossularite), ডাইঅপসাইড থাকতে পারে।

বেসিক অথবা প্রায়-বেসিক আগ্নেয় পাথর থেকে কম মাত্রায় রূপান্তরিত হয়ে গ্রীনশিস্ট পাথর তৈরী হয়। এই পাথরে ক্লোরাইট, এপিডোট, এক্টিনোলাইট থাকায় পাথরের রং সবুজ হয়। এই

পাথরের খনিজ সমাবেশ হল—(ক) ক্লোরাইট—এপিডোট—এক্টিনোলাইট—এলবাইট—(ক্যালসাইট), (খ) একটিনোলাইট—এপিডোট—এলবাইট ইত্যাদি। এই পাথরগুলিতে প্ল্যাগীওক্লেস হল এলবাইট (An_{0-7})।

এই জাতীয় পাথরে অনেক ক্ষেত্রে আদি আগ্নেয় পাথর, যেমন ব্যাসল্ট, ডলেরাইট বা গ্যাব্রোর গ্রথনের চিহ্নাবশেষ (relict) থেকে যায়। এই রকম ক্ষেত্রে প্লাগীওক্লেসের ল্যাথ (lath) বা টাবুলার (tabular) কেলাস চেনা যায় ; এই আদি ফেলসপারগুলি এলবাইট, জোইসাইট বা এপিডোট, এবং সেরিসাইট, ক্লোরাইট, একটিনোলাইট, প্রেনাইট (Prehnite) এর সূক্ষ্মদানা কেলাস দিয়ে পরিবর্তিত হতে পারে, তখন যে ঘন অতি সূক্ষ্ম গ্রথন মাইক্রোগ্রানুলার ছদ্মরূপ (pseudomorph) ফেলসপারকে প্রতিস্থাপন করে তাকে Saussurite এবং এই প্রক্রিয়াকে saussuritization বলা হয়। Blastophitic গ্রথনযুক্ত হলে ও তার ফলে আদি পাথর ডলেরাইট বলে চেনা গেলে—এই রূপান্তরিত পাথরকে এপিডায়োরাইট (Epidiorite) বলা হয়। এপিডায়োরাইটে অনেক ক্ষেত্রে কিছু আদি প্লাগীওক্লেসের কেলাস অপরিবর্তিত থেকে যায় যার সঙ্গে নতুন তৈরী এলবাইট থাকতে পারে। রূপান্তর সম্পূর্ণ হলে এই রকম চিহ্নাবশেষ বিলুপ্ত হয়ে যায়।

পেরিডোটাইট (Peridotite) পাথর খুব সহজেই রূপান্তরিত হয়ে যায়। বিশেষতঃ জল ও তার সঙ্গে দ্রবণীয় CO_2, SiO_2 থাকলে এই পরিবর্তনের ফলে অনেক রকম নতুন খনিজ তৈরী হতে পারে। এইভাবে যে খনিজগুলি শিস্ট পাথর তৈরী করে তাদের মধ্যে antigorite, talc, chlorite, carbonate প্রধান। এণ্টিগোরাইট ম্যাগনেশিয়ান শিস্টের প্রধান সারপেণ্টিন খনিজ। জলে দ্রবীভূত CO_2 রূপান্তরের সময় কার্যকরী হলে talc-carbonate পাথর তৈরী হয়।

গ্লকোফেন শিস্ট পাথর :—

গ্লকোফেন শিস্ট জাতীয় পাথরে একটি সোডা-এমফিবোল থাকে, যেমন গ্লকোফেন-রিবেকাইট সিরিজের (Glaucophane—Riebeckite series) এমফিবোল। এই পাথরের খনিজ সমাবেশ এইরূপঃ— (1) Glaucophane—albite—chlorite—epidote—sphene, (2) Glaucophane—lawsonite—pumpellyite (3) Albite—glaucophane—jadeite। গ্লকোফেন খুব সহজে চেনা যায় তার কারণ এর pleochroism :— X=হালকা হলদে বা রং হীন, Y=ভায়লেট বা ল্যাভেণ্ডার নীল, Z=ঘন নীল। কেলাসের দ্রাঘণ (elongation) (+)। ঐ Lawsonite ($CaAl_2SiO_7$ $(OH)_2$, H_2O) ও Jadeite

($NaAlSi_2O_6$) যুক্ত পাথরগুলি কম তাপাঙ্ক ও খুব উচ্চ চাপে তৈরী পাথর। (এই দুই খনিজযুক্ত পাথরকে Blue schist facies নামে উচ্চ চাপে তৈরী পাথরের একটি নতুন ফেসিসের অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছে।)

উচ্চ মাত্রার আঞ্চলিক রূপান্তরিত পাথর ঃ শিস্ট, এমফিবোলাইট, গ্রানুলাইট এবং একলগাইট

(High grade regional metamorphic rocks : Schist, Amphibolite, Granulite and Eclogite)

উচ্চ মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরগুলির মধ্যে আছে পেলিটিক শিস্ট পাথর। এর মধ্যে Staurolite, Kyanite ও Sillimanite জোনের পাথরগুলি অন্তর্ভুক্ত (চিত্র 83)। এই সব পাথরে কোয়ার্টজ, ফেলসপার, বায়োটাইট, মাস্‌কোভাইট ও এল্‌মানডিন গার্নেট থাকে। এমফিবোলাইট ফেসিসের সর্বোচ্চ মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরে মাসকোভাইট অভ্র স্থায়ী নয়। এর স্থানে অর্থোক্লেস ও সিলিম্যানাইট তৈরী

$$Muscovite+Quartz=Orthoclase+Sillimanite+H_2O$$

হয় এবং জল নির্গত হয়। এই বিক্রিয়ার ফলে জলযুক্ত (hydrous) খনিজ থেকে জলহীন (anhydrous) খনিজ তৈরী হয়েছে। জলহীন খনিজগুলি বিশেষ করে গ্রানুলাইট ফেসিসের বিশেষত্ব। Barrow যে Sillimanite zone নির্দেশ করেছেন, সেই জোনের পাথরে পত্রায়ণ বেশ জোরালো দেখায়, কারণ পাথরের মধ্যে কোয়ার্টজ ও ফেলসপারের (বিশেষতঃ অর্থোক্লেস) গ্রানুলার দানাগুলি অন্য খনিজ থেকে তফাৎ হয়ে লেন্সের মত ব্যান্ড বা পাত তৈরী করে এজন্য এ পাথরগুলিকে বলা হয়, নাইস (gneiss) (চিত্র 88)।

চুনযুক্ত শিস্ট ও মার্বল পাথর এই রকম উচ্চ মাত্রায় রূপান্তরিত হলে পাথরে ক্যালসাইট ও কোয়ার্টজ থাকে; ওলাস্টনাইট তৈরী হয় না। Calcite, diopside, clinozoisite (zoisite), grossularite, plagioclase, scapolite, phlogopite, quartz এই পাথরের বৈশিষ্ট্য।

এমফিবোলাইট (Amphibolite) :

এমফিবোলাইট ফেসিসের একটি বৈশিষ্ট্যপূর্ণ পাথর এমফিবোলাইট—এটি হর্ণব্লেড ও প্লাগীওক্লেসযুক্ত পত্রায়িত রূপান্তরিত পাথর (চিত্র 99)। আঞ্চলিক রূপান্তরের মধ্যম ও উচ্চ মাত্রায় এ পাথর তৈরী হয়। হর্ণব্লেন্ড দানাগুলি দ্রাঘিত (elongated) হয় ও দিক-

নির্দিষ্ট (oriented) দেখায়, যার জন্য শিস্টোসিটি ও লিনিয়েসান দেখা যেতে পারে। বেসিক ও প্রায়-বেসিক আগ্নেয়পাথর এবং কাদাযুক্ত চুনাপাথরের (marl), ডলোমাইটিক গ্রেওয়াকী অথবা tuff জাতীয় পলির রূপান্তরের ফলে এমফিবোলাইট তৈরী হতে পারে; এমন কি খাঁটি চুনাপাথর রূপান্তরিত হয়েও এমফিবোলাইট তৈরী হয়—যদি রূপান্তরিত হওয়ার সময় Si, Mg ও Fe পাথরের মধ্যে metasomatically অনুপ্রবেশ করে। একটি এমফিবোলাইট ঠিক কোন জাতীয় আদি পাথর থেকে তৈরী হয়েছে, (আগ্নেয় অর্থাৎ ortho-amphibolito না পাললিক অর্থাৎ para-amphibolite) তা স্থির করা অনেক ক্ষেত্রে

চিত্র 99

এমফিবোলাইট পাথরের আণুবীক্ষণিক চিত্র। হর্ণব্লেণ্ডের সাবইডিওব্লাস্টিক কেলাস ও প্লাগীওক্লেসের (এ্যাণ্ডেসিন) জেনোব্লাস্টিক কেলাস। সামান্য পরিমাণে আছে আয়রণ ওর। এই পাথরের রাসায়নিক সংযুতি ব্যাসল্ট্ পাথরের মত। (×50)

Adirondack Mountains, New York এর পাথর।

(A. E. J. Engel and C. G. Engel. 1962 অনুসারে)।

শক্ত হয়ে পড়ে। সাধারণতঃ আগ্নেয়পাথর থেকে এমফিবোলাইট তৈরী হলে তার হর্ণব্লেণ্ড ঘন রং দেখায়, প্লাগীওক্লেস An_{25} থেকে An_{40}, এলম্যানাডিন গার্নেট, কোয়ার্টজ ও বায়োটাইট সামান্য পরিমাণে থাকে।

এপিডোট স্ফীন ও ইলমেনাইট থাকে। পাললিক পাথর থেকে রূপান্তরিত এমফিবোলাইটে বেশী কোয়ার্টজ, বায়োটাইট থাকে ও সবুজ ডাইঅপসাইড থাকা ও এলম্যানডিন গার্নেট না থাকা বৈশিষ্ট্য।

গভীর অঞ্চলের রূপান্তর বা প্লুটনিক রূপান্তর

(Plutonic Metamorphism)

আঞ্চলিক রূপান্তরের ক্ষেত্রে দেখা যায় যে যত গভীর অঞ্চলে রূপান্তর হয় চাপ বাড়তে থাকে এবং তাপাঙ্ক বেশী হয়। অগভীর অঞ্চলে এক স্তর অন্য স্তরের উপর উচ্চ চাপে ভাঁজ হয় বা সংঘট্ট (thrust) তৈরী করে বা অন্য ভাবে শীয়ার স্ট্রেস (shear stress) উৎপাদন করে, কিন্তু গভীর অঞ্চলে ক্যাটা জোনে (Kata zone) শীয়ার স্ট্রেস (shear stress)-এর প্রভাব রূপান্তরের উপর অতি সামান্য। গভীর অঞ্চলের এই রূপান্তরকে প্লুটনিক রূপান্তর (Plutonic metamorphism) বলা হয়। সাধারণতঃ এই অতি গভীর অঞ্চলগুলি প্রিক্যাম্ব্রিয়ান, বিশেষতঃ আর্কিয়ান যুগের পাথরে গঠিত। কোটি কোটি বৎসর ধরে ভূ-আলোড়ন ও ক্ষয়ীভবনের ফলে ঐ গভীর অঞ্চল ভূ-পৃষ্ঠে উদ্‌ভেদ (outcrop) তৈরী করতে পেরেছে।

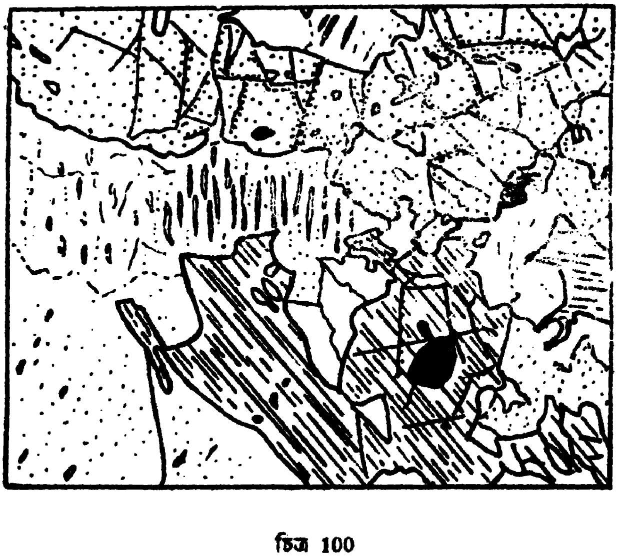
গ্রানুলাইট পাথর (Granulites)

উচ্চ মাত্রায় রূপান্তরিত পাথরের মধ্যে যেগুলি গ্রানুলাইট ফেসিসের (Granulite facies) অন্তর্ভুক্ত সেই পাথরগুলিতে গ্রানুলিটিক ফ্যাব্রিক থাকে। সাধারণতঃ প্রিক্যামব্রিয়ান শীল্ড এলাকাতে গ্রানুলাইট পাথর দেখা যায়। এই পাথরগুলি গভীর ভূত্বকে উচ্চ চাপ ও তাপাঙ্কে রূপান্তরিত হয়।

(ক) কোয়ার্টজো ফেলসপাথিক গ্রানুলাইট—এই পাথরগুলিতে নাইসিক (gneissic) গঠন দেখা যেতে পারে। সাধারণতঃ খনিজগুলি সমাকৃতি (equant) থাকলেও কোয়ার্টজ পাতলা লেন্সের মত চেপ্টা (flattened) দেখায়। এই পাথরগুলির টেক্সচার গ্রানুলোজ এবং এদের অনেক সময় ব্যান্ডেড গঠন থাকে, পাতলা লেন্সের মত কোয়ার্টজ (streaky elongated quartz) ও বিভিন্ন খনিজযুক্ত স্তর (layer) বিশিষ্ট এই নাইসিক (gneiss) পাথরগুলিকে লেপ্‌টিনাইট (Lepty-nite) বলে। এই পাথরে কোয়ার্টজ, পার্থাইট ও গার্নেট প্রধান খনিজ। এই পাথরের উপাদান গ্রানাইট, অথবা ফেলসপাথিক বালি পাথরের মত। কোয়ার্টজ—অর্থোক্লেস—গার্নেট—সিলিম্যানাইট—গ্রাফাইট যুক্ত পাথর-

গুলি ভারতবর্ষের পূর্বঘাট অঞ্চলে পাওয়া যায় (চিত্র 84)। এদের "খন্ডালাইট" (Khondalite) নাম দেওয়া হয়েছে। এগুলি কর্দম জাতীয় পাথরের রূপান্তরের ফলে তৈরী। এদের মধ্যে গার্নেটের উপাদানে এলম্যানডিন প্রধান হলেও কিছু পাইরোপ মলিকিউল থাকে। এই পাথরে cordierite ও বায়োটাইট থাকতে পারে।

(খ) পাইরক্সিন গ্রানুলাইট পাথরগুলি গ্রানুলাইট ফেসিস এলাকার আর একটি বৈশিষ্ট্য। এইগুলিতে প্লাগীওক্লেস পাইরক্সিন (ডাইঅপসাইড ও হাইপারস্থিন) ও গার্নেট প্রধানতঃ থাকে। পাইরক্সিনের মধ্যে হাইপারস্থিন প্রধান হতে পারে। এক্ষেত্রে পাথরগুলি নরাইটিক গ্রানুলাইট (noritic granulites) ও মেটাএনরথোসাইট জাতীয় হতে পারে (চিত্র—87)। কোনও কোনও গ্রানুলাইট পাথরে



চিত্র 100

চার্ণকাইট পাথরের আণুবীক্ষণিক চিত্র। পাইরক্সিন (হাইপারস্থিন) প্লাগীওক্লেস (এন্টিপার্থাইট), পার্থাইটিক অর্থোক্লেস ফেলসপার গার্নেট (ডট্ চিহ্নিত ও ইনক্লুশানযুক্ত) ও কোয়ার্টজ। (×37)। পাল্লাভরম, মাদ্রাজ।

(R. A. Howie and A. P. Subramaniam, 1956 অনুসারে)

হর্ণব্লেন্ড থাকে। তখন গ্রানুলাইট ফেসিসের মধ্যে নীচু মাত্রার সাবফেসিস Hornblende granulite subfacies-এর অন্তর্ভুক্ত করা যায়। এই সাবফেসিসে সামান্য জলযুক্ত (hydrous) খনিজ তৈরী হয়েছে—নতুবা গ্রানুলাইটগুলি anhydrous।

(গ) চার্ণকাইট (Charnockite)

ভারতবর্ষের গ্রানুলাইট ফেসিস এলাকাতে আরও এক প্রকার পাথর আছে, যার মধ্যে প্রধানতঃ থাকে কোয়ার্টজ, পটাশ ফেলসপার, সোডিক প্লাগীওক্লেস, হাইপারস্থিন ও গার্নেট (চিত্র 100)। এই পাথরগুলিকে Thomas Holland (1893) নাম দেন Charnockite, কারণ কলিকাতা শহরের প্রতিষ্ঠাতা Job Charnock-এর কবরের ফলক এই পাথরে তৈরী। ঐ পাথরে যে কোয়ার্টজ আছে তার রং নীল ও তার মধ্যে রুটিল, আয়রণ ওর ইত্যাদির inclusions আছে। ফেলসপারগুলিও সবুজ ও ধূসরের মাঝামাঝি রং-এর। এই পাথরগুলি গ্রানুলাইট ফেসিস অবস্থাতে কেলাসিত হয়েছে অথবা পুনরায় কেলাসিত হয়েছে। অর্থাৎ চার্ণকাইটে আগ্নেয় ফেসিস ও রূপান্তরিত ফেসিস্ মিশে গেছে। A. P. Subramaniam (1959) মনে করেন যে শুধু এসিড চার্ণকাইটগুলি একটি চার্ণকাইট সিরিজে (Charnockite series) পড়ে। হাইপারস্থিনযুক্ত ম্যাফিক (নরাইটিক) বা আলট্রাবেসিক পাথরগুলি চার্ণকাইটের সংগে সম্পর্কযুক্ত না হতেও পারে। চার্ণকাইট পাথর প্রধানতঃ ভারতবর্ষের পূর্বঘাট এলাকা ও দক্ষিণভারতে পাওয়া যায় (L. L. Fermor, 1935 ; B. Rama Rao, 1945), কিন্তু পৃথিবীর বহু প্রাচীন অঞ্চলের গ্রানুলাইট এলাকাতে চার্ণকাইট বা চার্ণকাইট জাতীয় পাথর পাওয়া যায়।

একলগাইট (Eclogite)

একলগাইট পাথরের অত্যাবশ্যক খনিজ হল হালকা-গোলাপী রংয়ের এলমানডিন-পাইরোপ গার্নেট ও ওমফাসাইট (omphacite)। ওমফাসাইট একটি ডাইঅপসাইট-জেডাইট সিরিজের (diopside-jadeite series) পাইরক্সিন। রুটিল সব একলগাইটে পাওয়া যায় এবং কোন কোন একলগাইটে কায়ানাইট থাকে।

একলগাইট পাথর কিমবারলাইট (kimberlite), ব্যাসল্ট, বা আলট্রাম্যাফিক পাথরের layers এর মধ্যে থাকতে পারে ; অথবা নাইস (gneiss) পাথর বা রূপান্তরিত পাথরের মধ্যে লেন্স বা স্তর হিসাবে থাকতে পারে।

একলগাইটের উপাদান ঠিক অলিভিন ব্যাসল্ট বা থোলিয়াইটিক ব্যাসল্টের উপাদানের মত। সুতরাং ব্যাসল্টের উপাদান বিশিষ্ট এমফিবোলাইট বা পাইরক্সিন গ্রানুলাইট পাথর থেকে এই পাথরের খনিজগুলি খুব বিভিন্ন হওয়ায় এই পাথরকে একটি বিশিষ্ট ফেসিস—

Eclogite facies এর অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছে। এই পাথরের আপেক্ষিক গুরুত্ব খুব বেশী এবং খনিজগুলি যেমন গার্নেট (শতকরা 30 ভাগের কম থেকে 55 ভাগের বেশী Pyrope মলিকিউলযুক্ত), জেডাইট-সমৃদ্ধ পাইরক্সিন (Jadeite-rich pyroxene), কায়ানাইট ইত্যাদির উপস্থিতি থেকে বোঝা যায় যে এই পাথর অত্যধিক চাপ ও তাপাঙ্কের ফলে রূপান্তরিত হয়েছে। এই পাথর আগ্নেয় পাথর কি রূপান্তরিত পাথর সেই সম্বন্ধে মতভেদ আছে। কারণ উচ্চ চাপে তৈরী হলে উভয় ক্ষেত্রে একই খনিজ উপাদান ও গ্রথন দেখা যাবে।

সপ্তদশ অধ্যায়

আলট্রামেটামরফিজম এবং গ্রানাইটিজেশন

(Ultrametamorphism and Granitization)

ম্যাগমার কেলাসনের অবশিষ্টাংশ জলীয় পদার্থ ও এ্যালকালী সমৃদ্ধ হয়; রূপান্তরিত হওয়ার সময় পাথরের আংশিক গলিত হওয়ার ফলেও সেইরূপ পদার্থ সৃষ্টি হতে পারে। এ্যালকালী ও সিলিকা সমৃদ্ধ এই ফ্লুইড (তরল+গ্যাসীয় পদার্থ) রূপান্তরিত হওয়ার সময় পাথরের মধ্যে অনুপ্রবেশ (injected) করতে পারে। "Their injection into rocks or imbibation by rocks, lead, therefore to processes of alkali metasomatism and especially felspathization"—G. W. Tyrrell (1937)

সাধারণতঃ রূপান্তরিত পাথরের পত্রায়ণের মধ্যে একটির পর একটি স্তরে প্রবেশ করে পাতলা স্তর তৈরী করে। এই পাথরকে ইন্‌জেকশান নাইস (injection gneiss) বলা হয়। এই ভাবে অনুপ্রবেশকারী পদার্থ গ্রানাইটের উপাদান বিশিষ্ট হতে পারে। একটি গ্রানাইটের অবয়ব থেকে স্থানীয় পাথরের পত্রায়ণের মধ্যে অনুপ্রবেশ করে এইভাবে injection gneiss হওয়া সম্ভব। আরও বেশী পদার্থ প্রবেশ করলে ব্যাণ্ডেড নাইস (Banded gneiss) অথবা লি-পার-লি নাইস (lit-par-lit gneiss) হয়। এই সব ক্ষেত্রে রূপান্তরিত পাথর গ্রানাইটিক পদার্থের সঙ্গে বিক্রিয়ার ফলে পরিবর্তিত হয়ে পাতের মত স্তর তৈরী করে। স্থানীয় পাথরে অনুপ্রবেশকারী পদার্থ শিরার মত বা ডাইকের মত ছড়িয়ে পড়লে Veined gneiss হয়।

মনে রাখা দরকার যে এই পাথরগুলি সৃষ্টির তাপাঙ্ক রূপান্তরের অবস্থার অপেক্ষা অনেক বেশী, এজন্য এই সব প্রক্রিয়াকে **আল্ট্রা-মেটামরফিজম** (ultrametamorphism) বলা হয়; এর ফলে যে পরিবর্তন হয় তার মধ্যে আগ্নেয় পাথরের গ্রথন দেখা যেতে পারে এবং পাথর আংশিক বা সম্পূর্ণ গলিত হয়ে যেতে পারে। এইরূপ আংশিক বা সম্পূর্ণ গলিত হয়ে আলট্রামেটামরফিজমের ফলে নতুন ম্যাগমা সৃষ্টি হলে এই পদ্ধতিকে এনাটেক্সিস্ (Anatexis) অথবা প্যালইনজেনেসিস (Palingenesis) বলা হয়। বর্তমানে anatexis কথাই বেশী ব্যবহৃত হয়। J. J. Sederholm (1907-26) ফিনল্যাণ্ডের প্রীকাম্ব্রিয়ান এলাকায় গবেষণা করে এই প্রক্রিয়াগুলির বিবরণ দিয়েছেন।

এই পাথরগুলির মধ্যে আছে মিশ্রিত-পাথর "mixed rock" বা **মিগমাটাইট** (Migmatite), যার ভিতর দুটি পৃথক অংশ চেনা যায়, (ক) উচ্চ মাত্রায় রূপান্তরিত অংশের পরিবর্তিত অবশেষ এবং (খ) অনুপ্রবেশকারী আগ্নেয় পদার্থ। স্থানীয় পাথরের মধ্যে এনাটেক্সিস হয়ে অথবা নিকটবর্তী রূপান্তরিত পাথরের পত্রায়ণ বা ফাটলের ফাঁকে ফাঁকে ফ্লুইড পদার্থের ইন্‌জেকশানের ফলে এই রকম হতে পারে। রূপান্তরিত পাথরগুলির সংগে এই পাথরগুলির সম্পর্ক চিত্রে দেখান হয়েছে। চিত্রের একটি অংশে গ্রানাইটের মত গলন তৈরীর অবস্থা দেখান হয়েছে এনাটেক্সিসের অবস্থাও ঐরূপ (চিত্র 95)।

মিগমাটাইট প্রধানতঃ চারটি উপায় সৃষ্টি হতে পারে ঃ

(ক) গ্রানাইটের শিরা তৈরী করার মত ম্যাগমা ইনজেক্‌শান।

(খ) গ্রানাইটিক শিরা তৈরীর জন্য K, Na অথবা অন্যান্য মৌলিক পদার্থ মেটাসোমাটিক উপায় অনুপ্রবেশ।

(গ) রূপান্তরের ব্যামিশ্রণ (metamorphic differention)।

(ঘ) গ্রানাইটিক শিরা সৃষ্টির জন্য এনাটেক্‌সিস বা আংশিক গলন।

গ্রানাইটিজেশান (Granitization)

Granitization "includes a group of processes by which a solid rock (without enough liquidity at any time to make it mobile or rheomorphic) is made more like granite than it was before, in minerals, or in texture and structure, or in both."—F. F. Grout (1948).

গ্রানাইটিজেশান একটি সাধারণ পদ্ধতি এবং ইতিপূর্বে মিগমাটাইটের আলোচনার সময় বলা হয়েছে যে রূপান্তরিত পাথরের মধ্যে ম্যাগমার অবশিষ্টাংশ অথবা ভলাটাইল পদার্থ, এলক্যালী ও সিলিকা সমৃদ্ধ ফ্লুইড (যাকে emanation, "ichor", juices ইত্যাদি বিভিন্ন নাম দেওয়া হয়েছে) অনুপ্রবেশ করে পাথরকে গ্রানিটাইজ (granitize) করতে পারে। এইভাবে গ্রানিটাইজ্‌ড হওয়ার পর পাথরের মধ্যে নরমভাব আসে ও এই অবস্থায় পাথর উদবেধী হিসাবে সচল হতে পারে —তাকে মবিলিজেশান (Mobilization) বলা হয়। পাথরের এই রকম অবস্থা হলে তাকে রিওমার্ফিক (rheomorphic) বলা হয়। মিগমাটাইটিজেশান গ্রানিটিজেশানের একটি গুরুত্বপূর্ণ প্রক্রিয়া, কিন্তু আরও কতগুলি প্রক্রিয়ার ফলে গ্রানিটিজেশান হওয়া সম্ভব।

গ্রানাইটিজেশান হওয়ার পদ্ধতি সম্পর্কে অপর একটি মত এই যে তরল বা গ্যাসীয় পদার্থ অথবা পাথরের মধ্যবর্তী দ্রবণ (Pore solution) ছাড়া শুষ্ক অবস্থায় পাথরের কেলাসের দানার ভিতর দিয়ে ও দানাগুলির মধ্যবর্তী সীমানা ধরে "আয়নিক ব্যাপন" (ionic diffusion) ; Doris L. Reynolds (1944) একটি ক্ষেত্রে গ্রানোডায়োরাইট পাথর তৈরীর জন্য Na, Ca এবং Si আয়নের প্রবেশ ও Al, Fe, এবং Mg আয়নের নির্গমনের ফলে এই গ্রানাইটিজেশান হয়েছে মনে করেন। গ্রানিটাইজ্‌ড্‌ (granitized) পাথর থেকে নির্গত হয়ে Fe, Mg যে স্থানীয় পাথরে প্রবেশ করে তার মধ্যে বায়োটাইট, করডিয়েরাইট ইত্যাদি সমৃদ্ধ বেসিক ও আল্ট্রাবেসিক পাথর তৈরী করে—এই পাথরগুলিকে বেসিক ফ্রন্ট (basic front) বলা হয়েছে।

বস্তুতপক্ষে পরীক্ষায় দেখা গেছে যে শুষ্ক পাথরের মধ্যে আয়নগুলির ডিফিউশান (ionic diffusion) অত্যন্ত ধীরে হয় ও তার ফলে এই প্রক্রিয়া গ্রানাইট অবয়ব তৈরী করার মত ক্ষমতাহীন। এই প্রক্রিয়াকে গুরুত্বপূর্ণ বলে মনে করা হয় না (N. L. Bowen, 1948)।

A. F. Buddington (1959) দেখিয়েছেন যে ক্যাটা জোনে (Kata zone) যে গ্রানাইটগুলি অনুপ্রবেশ করে তাদের মধ্যে নাইসের পত্রায়ন (gneissic foliation) থাকে, এবং তাদের সঙ্গে মিগমাটাইট জোন থাকে এবং এই গ্রানাইটগুলি প্রতিস্থাপনের ফলে (replacement) সৃষ্টি হয়েছে এবং ভূআলোড়নের সঙ্গে সমসাময়িকভাবে অনুপ্রবেশ করেছে (syntectonic intrusion)।

বিহারের মাইকা খনি অঞ্চলে J. A. Dunn (1942) এই ধরণের গ্রানাইটিজেশান ও হিমালয়ের নাঙ্গা পর্বত অঞ্চলে P. Misch (1949) এই প্রক্রিয়ার metasomatic granitization লক্ষ্য করেছেন।

অষ্টাদশ অধ্যায়

মেটাসোম্যাটিজম এবং মেটামরফিক ডিফারেন্সিয়েশান

মেটাসোম্যাটিজম (Metasomatism)

পাথরের খনিজের উপর দ্রবণের কার্য্যকারীতার ফলে কিছু পদার্থ দ্রবীভূত হয়ে অপসারিত হতে পারে এবং সেই সংগে অন্য রাসায়নিক উপাদানযুক্ত খনিজ দ্রবণ থেকে অবক্ষেপিত (deposited) হয় এই প্রক্রিয়াকে অভিঘটন বা মেটাসোম্যাটিজম্ (Metasomatism) বলে ; মেটাসোম্যাটিজমের ফলে বাহির থেকে যে নতুন পদার্থ দ্রবীভূত হয়ে আসে পাথরের মধ্যে তার সমৃদ্ধি ঘটে (W. Lindgren ; V. M. Goldschmidt)। মেটাসোম্যাটিজমের ফলে অনুপ্রবেশকারী (introduced) দ্রবীভূত পদার্থের সংগে পাথরের খনিজের বিক্রিয়া হয়; এজন্য একই সংগে পাথরের খনিজ সমাবেশ ও রাসায়নিক উপাদান পরিবর্তিত হয়।

প্রধানতঃ পাঁচ প্রকার মেটাসোম্যাটিজম আছে ঃ

(1) এ্যালকালী মেটাসোম্যাটিজম (Alkali Metasomatism) ;

(2) চুন-মেটাসোম্যাটিজম (Lime Metasomatism) ;

(3) লোহা—ম্যাগনেশিয়া—সিলিকেট মেটাসোম্যাটিজম (Iron—Magnesia—Silicate Metasomatism) ;

(4) সিলিকা (Si), টিন (Sn), বোরন (B), লিথিয়াম (Li), ফ্লুওরিন (F), ক্লোরিন (Cl), সালফার (S) এর মেটাসোম্যাটিক অনুপ্রবেশ (Metasomatism introduction)।

(5) কার্বন ডাই-অক্সাইড অভিঘটন (CO_2-Metasomatism) ;

এই মেটাসোম্যাটিজমের ফলে রূপান্তরিত বা আগ্নেয় পাথরের ফেলস্প্যাথিজেশান ; - ক্যাল্ক-সিলিকেট খনিজ যুক্ত স্কারন সৃষ্টি ; লোহা-ম্যাগনেশিয়া যুক্ত স্কারন সৃষ্টি টুরমালিনিজেশান, গ্রাইজেনিজেশান (Greisenization), ফ্লুওরাইট (Fluorite), টোপাজ (Topaz), ফ্লুওর-এপেটাইট (Fluor-apatite), ফ্লগোপাইট (Phlogopite), স্কাপোলাইট (Scapolite), পাইরাইট (Pyrite), পীরহটাইট Pyrrhotite) অনুপ্রবেশ করে সৃষ্টি হয়। শেষোক্ত প্রক্রিয়ার ট্যাল্ক (Talc) তৈরী হয় (Steatization)।

রূপান্তর ব্যামিশ্রণ (Metamorphic Differentiation)

রূপান্তরের সময় সমসত্ত্ব (uniform) পাথর থেকে যে পদ্ধতিতে একাধিক খনিজ সমাবেশ তৈরী হয় যাদের খনিজগুলি বেশ পার্থক্য-যুক্ত, তাকে বলা হয় রূপান্তর ব্যামিশ্রণ অথবা মেটামরফিক ডিফারেন্সিয়েশান (Metamorphic Differentiation)। (ক) এমফিবোলাইট পাথরে মধ্যে বায়োটাইট হর্ণব্লেন্ড, এপিডোট—ল্যাব্রাডোরাইট থেকে তফাৎ হয়ে থাকতে পারে, অথবা (খ) এমফিবোলাইট পাথরে হর্ণ-ব্লেন্ডযুক্ত স্তরগুলি (layers) ফেলসপারযুক্ত স্তর থেকে তফাৎ হয়ে থাকতে পারে, অথবা (গ) ছোটদানাযুক্ত শিস্ট্ পাথরে গার্নেটের বড় পরফিরোব্লাস্ট্ তৈরী হতে পারে—এই সব উদাহরণগুলি মেটামরফিক ডিফারেন্সিয়েশান্ পদ্ধতিতে সৃষ্টি হয়েছে। রূপান্তর হওয়ার সময় (chemical potential এর ক্রমোচ্চতা থাকার জন্য) পাথরের উপাদানের আয়নগুলি বিভিন্নভাবে চলাচল করে (differential migration) তার ফলে মেটামরফিক ডিফারেন্সিয়েশান হয়।

(1) চাপ ও শীয়ার স্ট্রেসের (shear stress) ক্রমোচ্চতা থাকার ফলে (যেমন পাথর ও তার পার্শ্ববর্তী ফাটলের মধ্যে চাপের ক্রমো-চ্চতা), (2) পাথরের কেলাসের দানার পরিমাপ ও আকারের পার্থক্য (অর্থাৎ কেলাসের দানার surface energy-র পার্থক্য।) (3) কেলাসের মধ্যে থেকে কেলাসিত দ্রবণের মধ্যে থাকা পদার্থের exsolution, এই সকল কারণের জন্য বিভিন্ন প্রকার আয়নের চলাচলের গতি (rate of migration) বিভিন্ন হয়।

শিস্ট পাথরের মধ্যে পাতলা ল্যামিনেশান সৃষ্টি হওয়া এবং শিস্ট পাথরের মধ্যে শিরা আকারে (veins) কোয়ার্টজ এবং তার সঙ্গে কায়ানাইটের বড় দানা থাকা মেটামরফিক ডিফারেন্সিয়েশানের ফল। দ্রবণের মধ্যে দ্রবীভূত হয়ে খনিজগুলির উপাদান এক স্থান থেকে অপর স্থানে বাহিত হতে পারে বা দ্রবণের মধ্যে দিয়ে diffusion হতে পারে, অতঃপর অন্যত্র এই উপাদান দ্রবণ থেকে অধঃক্ষেপিত হয়ে খনিজ সৃষ্টি করতে পারে।

গ্রন্থপঞ্জী

সমগ্র প্রস্তরবিদ্যার জন্য গ্রন্থ

Gilluly, J., Waters, A. C., and Woodford, A. O., 1968, Principles of Geology : San Francisco, W. H. Freeman & Co.

Harker, A, 1954, Petrology for Students; 8th. Edition : London, Methuen & Co.

Krishnan, M. S., 1968, Geology of India and Burma : Madras, Higginbothams (Private) Ltd.

Krauskopf, K. B., 1967, Introduction to Geochemistry : New York, McGraw Hill Book Co.

Mason, B., 1966, Principles of Geochemistry, Third Edition : New York, John Wiley and Sons.

Read, H. H., and Watson, J., 1969, Introduction to Geology, (Principles) : London, Macmillan.

Tyrrell, G. W., 1940, The Principles of Petrology : London Methuen & Co.

Williams, H., Turner, F. J., and Gilbert, C. M., 1954, Petrography : An introduction to the study of rocks in thin sections :San Francisco, W. H. Freeman and Co.

আগ্নেয়পাথরের জন্য বিশেষ গ্রন্থ

Bowen, N. L., 1928, The Evolution of Igneous Rocks : Princeton, Princeton University Press. (Reprint 1956, Dover Publications Inc., New York).

Carmichael, I.S.E., Turner, F. J., and Verhoogen, J., 1974 Igneous Petrology. New York, McGraw Hill Book Co.

Hatch, F. H., Wells, A. K., and Wells, M. K., 1961, Petrology of the Igneous Rocks, Twelfth Edition : London, Thomas Murby & Co.

Hyndman, D. W., 1974, Petrology of Igneous and Metamorphic rocks. New York, McGraw Hill Book Co.

Moorhouse, W. W., 1959, The study of rocks in thin sections : New York, Harper and Brothers.

Turner, F. J. and Verhoogen, J., 1960, Igneous and Metamorphic Petrology, Second Edition : New York, McGraw Hill Book Co. p. 1—449.

Wahlstrom, E. E., 1950, Introduction to Theoretical Igneous Petrology : New York, John Wiley & Sons,

রূপান্তরিত পাথরের জন্য বিশেষ গ্রন্থ

Harker, A., 1950, Metamorphism, Third Edition : London, Methuen & Co.

Spry, A., 1969, Metamorphic Textures : London, Pargamon Press.

Turner, F. J., 1968, Metamorphic Petrology : New York, McGraw Hill Book Co.

Turner, F. J., and Verhoogen, J., 1960. Igneous and Metamorphic Petrology, Second Edition : New York, McGraw Hill Book Co. p. 450—672.

পাললিক পাথরের জন্য বিশেষ গ্রন্থ

Blatt, H., Middleton, G, and Murray, R., 1972, Origin of Sedimentary rocks. Englewood cliffs, New Jersey Prentice Hall Inc.

Dunbar, C. O., and Rodgers, J., 1958, Principles of Stratigraphy : New York, John Wiley and Sons.

Krumbein, W., C., and Sloss, L. L., 1966, Stratigraphy and Sedimentation ; Second Edition : San Francisco, W. H. Freeman and Co.

Pettijohn, F. J., 1957, Sedimentary Rocks, Second Edition : New York, Harper and Brothers.

পরিভাষা

A

abyssal—অতল সমুদ্র
aerobic—সবাত
amorphous—অকেলাসিত
anaerobic—অবাত
angular—কোণিত
assemblage—সমাবেশ
assimilation—পরিমিশ্রণ
aureole—বলয়

B

basin—অববাহিকা
bathyal—গভীর সমুদ্র
beach—সৈকতভূমি
bed load—নদীখাতের পলি
bedding plane—স্তরায়ণ
body—অবয়ব

C

cataclasis—বিচূর্ণন
cohesive force—সংসক্তি-জনিত বল
compatible—সহনশীল
component—উপাদান
concentration—ঘনত্ব
concentric—এককেন্দ্রীয়
conchoidal fracture—শম্বুক বিভঙ্গ
continuous reaction relation—ক্রমাগত বিক্রিয়া সম্পর্ক
country rock—স্থানীয় পাথর
crater—জ্বালামুখ
crystal—কেলাস
crystalline solution—কেলাসিত দ্রবণ
cumulative curve—সঞ্চয়ী বক্র

D

decomposition—বিযোজন
degrees of freedom—স্বাধীনতার মাত্রা
deposit—অবক্ষেপ
deposition—অবক্ষেপণ
detrital—কর্করীয়
differentiation—ব্যামিশ্রণ
diffusion—ব্যাপণ
disequilibrium—অসাম্য
disintegration—বিশরণ
divariant field—দ্বিপরিবর্তনীয় ক্ষেত্র
drill hole—ছিদ্র কূপ

E

elongation—দ্রাঘণ
end-member mineral—প্রান্তিক খনিজ
equant—সমাকৃতি
equilibrium—সাম্য
erosion—ক্ষয়ীভবন
eruption—উদ্গিরণ
essential mineral—মুখ্য খনিজ
estuary—মোহনা

F

faceted—ফলকিত
fault—চ্যুতি
fissility—বিদার্যতা
fissure—বিদার
flood plain—বন্যা প্লাবিত ভূমি
flow line—প্রবাহ রেখা
foliation—পত্রায়ণ
fragmental—খণ্ডিত
frame work—কাঠামো

G

grain—দানা

H

heat flow measurement—তাপ-প্রবাহের পরিমাপ
homogeneous—সমসত্ত্বতাযুক্ত
homogeneity—সমসত্ত্বতা
horizontal—অনুভূমিক

I

igneous rock—আগ্নেয় পাথর
immiscible—অমিশ্রণীয়
immature—অপক্ক
index mineral—নির্দেশক খনিজ
injected—প্রক্ষিপ্ত
intruded—উদ্ভিন্ন
intrusive—উদবেধী
invariant point—অপরিবর্তনীয় বিন্দু
irregular—অসমাঙ্গ

J

jointing—দারণ

K

kindred—গোষ্ঠী

L

lamination—স্তরায়ণ
lava—লাভা
layer—পাত
lineation—রেখায়ণ
limbs of folds—ভাঁজের অঙ্গদেশ
lithification—প্রস্তরীভবন

M

magma—ম্যাগমা
melt—গলন
melting point—গলনাঙ্ক
metamorphic rock—রূপান্তরিত পাথর
meteorite—উল্কা
mineral—খনিজ

N

neritic zone—অগভীর সমুদ্র অঞ্চল

O

order of stability—স্থায়িত্বের বিন্যাস
oriented—দিক-নির্দিষ্ট
outcrop—উদ্ভেদ
oxidizing—জারক

P

particle size—কণার মাপ
penetrate—অনুপ্রবেশ
physical—ভৌতিক
precipitation—অধঃক্ষেপন
primary structures—প্রাথমিক গঠন
projection—অভিক্ষেপ
provenance—পলির উৎস
pseudomorph—ছদ্মরূপ

R

radial—ছটাকার
rate of deposition—অবক্ষেপনের হার
rate of erosion—ক্ষয়ীভবনের হার
rate of reaction—বিক্রিয়ার বেগ
reaction—বিক্রিয়া
reducing—বিজারক
regular distribution—নিয়মিত বণ্টন
replacement—প্রতিস্থাপন
resistant—ক্ষয়রোধকারী
resolve—বিভাজন
retrogressive—পশ্চাৎগামী, প্রতীপ

ripple—লহরী
rock—প্রস্তর, পাথর, শিলা
rounded—গোলিত
roundness—গোলাকৃতি

S

saturated—সম্পৃক্ত
secondary mineral—গৌণ খনিজ
sedimentay rocks—পাললিক পাথর
seismic wave—ভূকম্পীয় ঢেউ
sieve—ছাকনি
size frequency distribution—সাইজ বারম্বারতা বণ্টন
solid solution—কেলাসিত দ্রবণ
sorting—দানার বাছাই
spheroidal—গোলক আকার
stability field—স্থায়িত্বের ক্ষেত্র
stable shield area—স্থায়ী শিল্ড এলাকা
standardize—প্রমিত
state of equilibrium—সাম্য অবস্থা
super mature—অতি পক্ক
suspended—প্রলম্বিত

T

tabular—পাঠক আকার
temperature—তাপাঙ্ক
terrigenous—স্থলীয়, মহাদেশীয়
texture—গ্রথন
thermal gradient—তাপাঙ্কের (বা তাপমাত্রার) ক্রমোচ্চতা
tidal flat—জোয়ার ভাটার সমভূমি

U

univariant—একক পরিবর্তনীয়

V

variation diagram—পরিবর্তন চিত্র
viscosity—সান্দ্রতা
volcanic—নিঃসারী

W

weathering—আবহিক বিকার

বিষয় সূচী

অগ্রগামী রূপান্তর, 204
অর্থজেনেসিস, 202
অর্থোএমফিবোলাইট, 249
অর্থোকেমিক্যাল—
উপাদান, 186
পলি, 121
অর্থোকোয়ার্টজাইট, 175—177
অধঃক্ষেপন, 121
অমিশ্রণীয় তরল পদার্থ, 113—114
অফিটিক, 70—71
অসমদানাযুক্ত গ্রথন, 68—71

আইজোলাইট, 107
আইসোগ্রাড, 221—223
আগ্নেয় পাথরের—
আকার ও গঠন, 14—34
খনিজ, 10—13
শ্রেণী বিভাগ, 35—38
সন্নিবেশ, 118—119
আঞ্চলিক রূপান্তরিত পাথর, 245—253
আবহবিকার, 120, 122—123
আরকোজ, 174—175
আরেনাইট, 170
আলট্রাম্যাফিক পাথর, 36, 87—92
আলট্রামেটামরফিজম, 254
আংশিক (ফ্রাকসনাল) কেলাসন, 48, 60—61

ইউটেকটিক, 42—45
ইউহেড্রাল, 64
ইনকনগ্রুয়েন্ট মেল্টিং, 45
ইনজেকশ্যান নাইস, 254
ইন্টারগ্রোথ, 72—73
ইভাপোরাইট, 192—193

উওলাইট, 186
উজ, 187, 189
উত্তাপ-জনিত রূপান্তর, 239, 242—244
উল্কা, 2—3

একলগাইট, 95, 252—253
এডামেলাইট, 99
এনকারামাইট, 92
এনরথোসাইট, 85—87
এনহেড্রাল, 64
এপ্লাইট, 109—111
এপিক্লাস্টিক, 120
এপিজোন, 97, 224
এমফিবোলাইট, 248—249
এমফিবোলাইট ফেসিস, 248
এমানেশান, 255
এলনোআইট, 112
এলবাইট—এনরথাইট, 49
এলবাইট—এপিডোট হর্ণফেলস ফেসিস, 239, 242
এলোকেমিক্যাল—
উপাদান, 186
পলি, 121
এলোট্রিওমরফিক, 66, 68
এ্যান্ডেসাইট, 93—96
এ্যাফানিটিক, 63
এ্যাসিমিলেশন (পরিমিশ্রণ), 115—116

ওভারগ্রোথ (পলির দানার), 177
ওসিয়ানাইট, 78—79
ওয়াকী, 177
ওয়েলডেড্ টাফ্, 104
ওয়েন্টওয়ার্থ গ্রেডস্কেল, 132

কর্করীয়, 120
কনকরডান্ট, 19

কম মাত্রায় রূপান্তরিত পাথর, 245—248
কম্মেনডাইট, 103
করোনা, 59, 74
কলড্রন সাবসিডেন্স, 26
কলয়ডাল সিলিকা, 182,183
কয়লা, 193—195
কংগ্লোমারেট, 164—169
কাদা, 132
কাদার ফাটল, 140
কার্বনেট খনিজ, 184
কার্বনেট পাললিক পাথর, 184—191
কায়ানাইট —সিলিম্যানাইট — এণ্ডালুসাইট 251
কিউপোলা, 102
কিম্বারলাইট, 5, 252
কৃষ্টালোব্লাস্টিক—
ফ্যাব্রিক, 230
সিরিজ, 230—232
কেলাস দ্রবণ, 48
কেলাসনের মাত্রা, 62
কোকিনা, 185
কোন সিট, 23
কোমাটিয়াইট, 90
কোয়ার্টজ আরেনাইট, 175—177
কোয়ার্টজ ডায়োরাইট, 100
ক্লে মিনারাল, 127—128
ক্রিটিক্যাল খনিজ, 226
ক্যাটাক্লাসাইট, 241
ক্যাটাজোন, 97, 224—225
ক্যালকেরিয়াস, 212
ক্যালসিরুডাইট, 185
ক্যালসিলুটাইট, 185
ক্যাল্‌কআরেনাইট, 185
ক্যাল্‌ক-এ্যালকালীন সিরিজ, 93, 100, 103

খনিজের ফেসিসের সঙ্গে তাপাঙ্ক ও চাপের সম্পর্ক, 226—229
খণ্ডালাইট, 250—251

গঙ্গা—ব্রহ্মপুত্রের মিলিত—ব-দ্বীপ, 158—161
গার্নেট, 215, 244, 246, 251, 253
গ্রথন, ক্ষুদ্র গঠন, 62—74
গ্রাইজেন, 101
গ্রানাইট, গ্রানাইটিক পাথর, 96—102
গ্রানাইট টেকটনিক, 28—32
গ্রানাইটিজেশান, 211, 254—256
গ্রানুলাইট, 227—229, 237, 250—252
গ্রানুলাইট ফেসিস, 250—252
গ্রানুলারিটি, 62
গ্রাভেল, 132, 165—166
গ্রানোডায়োরাইট, 99
গ্রীনশিস্ট ফেসিস, 227—229
গ্রানোফায়ার, 45
গ্রেওয়াকী, 170—173
গ্রেড স্কেল, 132
গ্রেন, ম্যাট্রিক্স, সিমেণ্ট, 128—129
গ্লকোফেন শিস্ট, 247—248
গ্যাব্রো, 83—85
গ্যাব্রো পাথরের রূপান্তর, 226—227

চার্ট, 181—183
চার্ণকাইট, 36, 101, 116, 252
চাপ, 205, 210
চিহ্নাবশেষ, 235—236, 247
চুনাপাথরের শ্রেণী বিভাগ, 187,189

ছাকনির মত গঠন, 230

জীওকেমিক্যাল ফেন্স, 199—201
জেনোক্রিস্ট, 74
জোনিং, 59

টাফ, 103
টারবিডিটি কারেন্ট, 148—150
টারনারী সিসটেম—
ডাইঅপসাইড — এনরথাইট—ফরসটেরাইট, 52—54
ডাইঅপসাইড — এনরথাইট — আলবাইট, 54—57

ডাইঅপসাইড — ফরসটেরাইট — সিলিকা, 59
সিলিকা — নেফিলিন — ক্যালসাইট, 60
টেফ্রোয়াইট, 79
টেশেনাইট, 82
টোনালাইট, 100
ট্রকটোলাইট, 84
টেফ্রোয়াইট, 79

ডলেরাইট, 80—83
ডলোমাইট, 189—191
ডলোস্টোন, 189—191
ডাইরেকটিভ গ্রথন, 72
ডানাইট, 36, 87—92
ডায়াজেনেসিস, 201—202
ডায়াব্লাস্টিক, 230
ডিট্রোআইট, 106
ডিফারেন্সিয়েশান (ব্যামিশ্রণ), 113—115
ডিসকরডান্ট, 19
ডিসলোকেশান মেটামরফিজম, 242
ডিসিলিকেশান, 108
ডেকান ট্রাপস্, 16, 77
ডেসাইট, 94

তাপমাত্রার ক্রমোচ্চতা, 204—205, 229

থেরালাইট, 82

দানার বাছাই, 135, 153, 155—157, 173—177

নরড্মারকাইট, 105
নরাইট, 83—85
নাইস—
অগেন, 98
ইনজেকশান, 254
গ্রানাইটিক, 98
ব্যাণ্ডেড, 254
ভেইনড্, 254
লি-পার-লি, 254
নাইসোজ গঠন, 235
নুয়ে আরদা, 103
নিঃসারী (ভলকানিক), 14
নেফিলিনাইট, 79
নেমাটোব্লাস্টক, 232
পরফিরিটিক, 68—69
পরফিরোব্লাস্ট, 231
পরস্পর অন্তবর্তী দানা, 45
পরসিলেনাইট, 183
পরিবর্তন চিত্র, 116—118
পরিভাষা, 261—263
পলি—
অর্থোকেমিক্যাল, 121
এলোকেমিক্যাল, 121
নদীখাতের, 146
স্থলীয়, 121
পলি অবক্ষেপনের পরিবেশ, 150—163
পলিতে রাসায়নিক খনিজ, 125
পলির—
উৎস, পরিবহন ও অবক্ষেপন, 143—163
প্যাকিং, 131
দানার পরিমাপ, 131—135
পলিমরফ, 12, 216—218
পয়কিলিটিক, 69—71
পয়কিলোব্লাস্টিক, 230
পাইরক্সিন-হর্ণফেলস ফেসিস, 236, 242
পাইরোক্লাস্টিক অবক্ষেপ, 9, 18
পাথরের শ্রেণী বিভাগ, 7—9
পাললিক পাথর, 8, 120—122
পাললিক পাথরের—
খনিজ উপাদান, 122—128
গঠন, 135—142
গ্রথন, টেক্সচার, 128—135
ডিফারেন্সিয়েশান, 198
রাসায়নিক উপাদান, 196—197
শ্রেণী বিভাগ ও বিবরণ, 164-195
পার্থাইটিক, 73, 100, 252
পার্থোসাইট, 106

পিকরাইট, 92
পিকরাইট ব্যাসল্ট, 78—79
পিচস্টোন, 102
পিলো লাভা, 34
পেগমাটাইট, 109—111
পেরিডোটাইট, 87—92
পেরিডোটাইট নডিউল, 90
পেলিটিক, 212
পেলেট্স, 186
পোরোসিটি ও পারমিয়েবিলিটি, 129
পৃথিবীর গঠন, 2—6
প্রস্তরগঠনকারি খনিজ, 9—10
প্রস্তরীভবনের বিভিন্ন প্রক্রিয়া, 201—202
প্লুটনিক রূপান্তর, 250—253
প্লেট টেকটনিকস্, 6, 94—95, 119
পশ্চাৎগামী রূপান্তর, 209, 242
প্যানইডিওমরফিক, 66, 68
প্যালইনজেনেসিস, 210, 254
প্যানটেলেরাইট, 103

ফসফেট পাথর, 193
ফয়আইট, 106
ফাইলনাইট, 241—242
ফিলাইট, 211, 245—247
ফেজ রুল, 216—219
ফোনোলাইট, 107—108
ফ্লুটমার্ক, 140
ফ্লোয়েজ, 206—207
ফ্যাকোলিথ, 26
ফ্যানেরোক্রিস্টালাইন, 63

বহু রূপান্তর (পলিমেটামরফিজ্ম), 209
বালি, 132
বালি পাথর, 169—177
বায়ু দ্বারা পরিবহণ, 149
বায়োস্ট্রোম, 185
বায়োহার্ম, 184
বাঙলাদেশ (ব-দ্বীপ), 158—161
বিক্রিয়া—
পদ্ধতি, 47
বিন্দু, 47
সম্পর্ক, 47
যুগ্ম, 74
বিচূর্ণন, ক্যাটাক্লাস্টিক রূপান্তর, 240—242
বিভিন্ন প্রক্রিয়ায় রূপান্তর, 203—209
বিযোজন, 120, 143—145
বিশরণ, 143
বেঙ্গল ডেল্টা, 159—161
বেড, 135—137
বেডিং—
গ্রেডেড, 137—139
ক্রশ, 137—139
বেনটনাইট, 181
বেসিক, 212
বেসিক ফ্রন্ট, 256
বৃষ্টির চিহ্ন, 141
ব্যাথোলিথ, 27
ব্যাপন,
ব্যাসল্ট, ডলেরাইট গ্যাব্রো, নরাইট 76—85
ব্যাসানাইট, 79
ব্রেকসিয়া, 165—166
ব্লাস্টো—
অফিটিক, 236
ব্ল্যাকশেল, 179—180
ব্লুশিস্ট ফেসিস, 248
ভলকানিক—
এ্যাস্, 18
ভেন্ট, 24
টাফ্, 18
ভার্ভ, 139
ভারী খনিজ দানা, 125—127
ভেসিকল, 14
ভূআলোড়নের সময়ের সঙ্গে
কেলাসনের সময়ের সম্পর্ক, 234—237
ম্যাগমার অনুপ্রবেশের সম্পর্ক, 118—119

ভূত্বক, 4—7
ভূত্বকের উপাদান, 6—7
মাইলনাইট, 240—241
মাড ক্লো, 148
মাটি, 144
মার্বল, 244
মিক্সাইট, 188
মিগমাটাইট, 229, 245, 255
মিনারাল ফেসিস, 228—229
মুগীয়ারাইট, 79
মেটাসোম্যাটিজম, 257
মেরোক্রিস্টালাইন, 62
মেসোজোন, 97—98, 224
ম্যাগমা, 14
ম্যাগমা, প্রাথমিক 39
মিশ্রণ, 116
ম্যান্ট্‌ল, 2, 5, 90, 95, 119, 205
রাউণ্ডনেস, 129—130
রাসায়নিক বিশ্লেষণ—
আগ্নেয় পাথরগুলির. 40—41
পাললিক পাথরের, 196—197
রায়োলাইট, রায়োডেসাইট ডেসাইট, 102—104
রেগোলিথ, 144
রৈলিক ফ্যাব্রিক, 233, 235—236
রিএকসান রিম, 59, 74
রিয়োমর্ফিক, 255
রিং ডাইক, 24—25
রূপান্তর—
পাথরের, 203
কমচাপযুক্ত ও চাপযুক্ত, 203—209
হওয়ার কারণসমূহ, 203—209
রূপান্তরিত—
পাথর, 8
পাথরের খনিজ, 213—215
পাথরের খনিজের বৃদ্ধি ও আকার, 230—232
শ্রেণী বিভাগ, 210—213
গ্রথন অনুসারে শ্রেণী বিভাগ, 211—212
রূপান্তরে রাসায়নিক উপাদানের কার্যকারিতা, 208—209
রূপান্তরের—
তীব্রতা নির্দেশক সূচক খনিজ ও জোন, 221—223
ফেসিস, 225—229
ব্যামিশ্রণ, 258
শ্রেণী বিভাগ (ভূত্বকের মধ্যে গভীরতা অনুসারে) 224—225
লহরী—
চিহ্ন, 141
স্তরায়ণ, 142
লাভা, 14
লাভা—
রোপী, 15
পা-হয়ে-হয়ে, 15
আ-আ, 15
ব্লক, 15
লারডালাইট, 105
লারভিকাইট, 105
লিমবার্গাইট, 79
লিচফিল্ডাইট, 106
লিথিফিকেশান, 201—202
লিথোস্ফীয়ার, 5—6, 94
লুসিটাইট, 79
লেপটিনাইট, 250
লেরজোলাইট, 88
লেপিডোব্লাস্টিক, 232
লোপোলিথ, 22
লোডকাষ্ট, 140
লোয়েস, 181
ল্যাকোলিথ, 21
লেয়ার্ড ইগনিয়াস কমপ্লেক্স, 83
ল্যামপ্রোফায়ার, 111—112
ল্যামিনা, 136
শঙ্কিনাইট, 107
শর্ল রক, 101
শিস্টোসিটি, 232—235

শীয়ার প্লেস্, 207—208
শেল, 178—181
শেল,মাডস্টোন, সিল্ট স্টোন, 178—181
স্লেট, 211, 221
স্লেট, ফিলাইট, শিস্টপাথর, 211
শিস্ট, 211, 221
সঞ্চয়ী বক্র, 134
সমদানাযুক্ত গ্রথন, 65—68
সমাকৃতি, 48—49
সাইজ বারম্বারতা বণ্টন, 133—135
সাবগ্রেওয়াকী, 171, 173
সাম্য অবস্থা, 216—221
সাবঅফিটিক, 71
সিমেণ্টেশান, 202
সিল্টস্টোন, 180
সাবডাকশান জোন, 94
সাবহেড্রাল, 64
সিউডোট্যাকিলাইট, 241
সিলিকেট গলন থেকে কেলাসন, 42—61
সিলিকেটের গাঠনিক শ্রেণীবিভাগ, 9—10
স্কারণ, 244, 257
স্তরায়ন, 163, 142
স্তরীভূত লোহপ্রস্তর, 191—192
স্থায়িত্বের বিন্যাস 122—123
স্পারী ক্যালসাইট, 187
স্ফেরিসিটি, 129—130
স্ট্রেস্, 260
স্টোপিং, 9
সংস্পর্শ রূপান্তর, 97, 98, 239, 242—244
সংস্পর্শ রূপান্তরিত মার্বল, 244
স্ট্যাটাম, 135—137
স্ট্রেন, 206
স্ট্রোমাটোলাইট, 189
হর্ণফেলস, 211
হর্ণব্লেণ্ড গ্রানুলাইট সাবফেসিস, 251
হর্ণব্লেণ্ড হর্ণফেল্স ফেসিস, 239—242
হলোক্রস্টালাইন, 62
হলোহয়ালাইন, 62
হার্টজবারগাইট, 88—90
হিপইডিওমরফিক, 66—68
হিপএ্যাবিসাল, 75
হিমবাহের দ্বারা পরিবহন, 149
হিস্টোগ্রাম, 133

সংশোধন

পৃষ্ঠা	লাইন	মুদ্রিত	সংশোধন
11	17	$Ca\ Al_3$ যদি	$Ca\ Al^{+3}$ যদি
		$Na\ Si_4$	$Na\ Si^{+4}$
25	10	ম্যাগমার	ম্যাগমা
27	23	যা	বা
30	30	কিউ-জয়েণ্টে	কিউ-জয়েণ্ট
34	13	রেডিলেরিয়া	রেডিওলেরিয়া
46	4	1157	1557
69	24	একএসেসরী	একসেসরী
76	12	অত্যাবশ্যক খনিজ।	অত্যাবশ্যক খনিজ। এগুলি ম্যাফিক পাথর।
76	13	এগুলি ম্যাফিক পাথর	delete
95	5	চিত্র—64	চিত্র—43
175	18	ঠিক	প্রায়
208	17	পদার্থের	পদার্থ
208	18	জায়গায়	জায়গার
223	18	1924	1928