अध्याय – 3

शैल विज्ञान

(Petrology)

शैल विज्ञान के अंर्तगत शैलों के निर्माण उनके प्रकार, मिलने की अवस्थाओं, संघटन, गठन, एवं संरचना आदि का अध्ययन करते हैं। इन कारणों से शैल विज्ञान भूविज्ञान का एक मूल अंग है। जैसा कि आपको मालूम है शैलें तीन प्रकार की होती है। मैग्मा एवं लावा से निर्मित होने वाली आग्नेय शैलें, अवसादों के समुद्र में जमने से बनने वाली अवसादी शैलें एवं इन शैलों को उचित दाब एवं ताप मिलने पर आंशिक या पूर्ण रूप से खनिजों के पुनः क्रिस्टलित होने वाली शैलों को कायांतरित शैलें कहते है। इन तीनों प्रकार की शैलों का अध्ययन एवं वर्णन हम इस पाठ के अंर्तगत करेंगे।

आग्नेय शैल विज्ञान (Igneous Petrology)

मैग्मा की परिभाषा, उत्पत्ति एवं संघटन (Definition, Origin & Composition of Magma)

मैग्मा शब्द गर्म, स्थूल, गाढ़ा दलिया जैसा द्रव्यमान (mass) के लिये प्रयुक्त किया जाता है। यह तप्त गतिशील, आंशिक या पूर्णतः द्रवीभूत सिलिकेट संघटन का शैल पदार्थ है जिसमें शैल खंड और निलंबित क्रिस्टल तथा वाष्पशील पदार्थ और गैसें घुली रहती है। मैग्मा जमीन के काफी नीचे रहता है। धरती की सतह पर आने पर इसके वाष्पशील पदार्थ और गैसें निकलकर वायुमण्डल में विलिन हो जाती है। सतह पर पहुंचे इस मैग्मा को ही लावा कहते हैं। मैग्मा की उत्पत्ति का अंदाजा भू–भौतिकी और प्रावार (mantle) शैलों से प्राप्त सूचनाओं एवं कुछ कल्पनाओं पर आधारित है। भूपर्पटी एवं प्रावार लगभग ठोस अवस्था में है। परन्तु स्थानीय रूप से कुछ भागों में ताप, दाब अथवा रासायनिक संघटन में उल्लेखनीय क्षोभ उत्पन्न हो जाने से वहाँ की शैलें पिघल जाती हैं और इस तरह मैग्मा की उत्पत्ति हो जाती है। आग्नेय शैलों के भौतिक, रासायनिक स्थानिक, और कालानुक्रमी गुण धर्मों में उनके निर्माण के लिये उत्तरदायी भू–वैज्ञानिक प्रक्रमों के कारण पर्याप्त विविधता पाई जाती है। आग्नेय शैलों का निर्माण मैग्मा एवं लावा के शीतलन एवं पिंडन (solidification) से होता है। इसलिये मैग्मा के भौतिक और रासायनिक गुण–धर्मों का सामान्य ज्ञान होना आवश्यक है। मैग्मा का प्रत्यक्ष अवलोकन असंभव है किन्तु भौतिक और भौतिक–रसायन संबंधी हमारा ज्ञान, ज्वालामुखी क्रिया के अवलोकन एवं अन्वेषण पर आधारित तर्क संगत निष्कर्षों, शैलकर खनिजों के भौतिक और रासायनिक लक्षणों तथा शैलों और उनके द्रवों तथा संश्लेषित और प्राकृतिक सिलिकेट निकायों के अध्ययन, पर आधारित है।

मैग्मा के गुण–धर्म (Character of Magma)

लावा का तापमान उसके तापदीप्ति वर्ण के मान के आधार पर निर्धारित किया जाता है। बेसाल्टीक लावा का तापमान उदगार के समय 1100° ± 100°C होता है। हवाई द्वीप में किलोआ ज्वालामुखी की लावा झील में सतह के तापमान की तुलना में 10 मीटर की गहराई पर तापमान 3000°C से अधिक था। इसी प्रकार लावा फुहार का तापमान 10 मीटर गहराई के तापमान से केवल 50°C कम था। भू–भौतिक रसायन शालाओं में प्रयोगों द्वारा निर्धारित विभिन्न संघटनों के लिक्विड्स तापमान नीचे दर्शाए गये हैं–

बेसाल्ट – लगभग 1200°C

एन्डेसाइट – लगभग 1050°C

रायोलाइट – लगभग 850°C (मापना सामान्यतः कठिन)

थोलाइटी बेसाल्ट (हवाई द्वीप) – 1150° से 1225°C

बेसाल्टीक ऐन्डेसाइट (पेरिक्यूटिन ज्वालामुखी मैक्सिको) – 1020° से 1110°C

रायोलाइट लावा व प्यूमिस (टो.पो.न्यूजीलैण्ड) – 735° से 890°C

रायोलाइट (केलिफोर्निया) – 790° से 820°

मैग्मीय गैसें और वाष्पशील पदार्थ
(Magmatic gases and volatile matter)

सभी मैग्माओं में मैग्मज गैसें और वाष्पशील पदार्थ घुले रहते हैं। उच्च दाब पर मैग्मा में सन्निहित जल और वाष्पशील पदार्थ की मात्रा कई प्रतिशत हो सकती है किन्तु मैग्मा के सतह की ओर उठने के साथ दाब क्रमशः कम होता जाता है तथा विलीन गैसों का अपविलयन होने लगता है। इस पदार्थ में लगभग 90 प्रतिशत भाग जल का होता है इस जल के अलावा सल्यूरेटेड हाइड्रोजन, हाइड्रोफ्लुओरिक अम्ल, हाइड्रोक्लोरिक अम्ल, कार्बन मोनोऑक्साइड कार्बन डाइऑक्साइड, सल्फरडाइऑक्साइड, हाइड्रोजन, नाइट्रोजन और ऑक्सीजन पाया जाता है। इन वाष्पशील पदार्थों की मात्रा मैग्मा की श्यानता को मंद और तापमान को कम कर सकती है।

श्यानता (Viscosity)

सिलिकेट कांच (पिंडित द्रव) के अध्ययन से यह ज्ञात हुआ है कि क्रिस्टलन के पूर्व मैग्मा में सिलिकेट खनिजों के समान ही सिलिका आक्सीजन–एलुमिना जाल पाये जाते हैं, किन्तु वे अविन्यासित होते हैं। सिलिका और एलुमिना की समृद्धि के साथ इनके बहुलकीकरण के कारण शैल की श्यानता बढ़ती है। विलेयित जल बहुलकीकरण घटाता है अतः उसकी उपस्थिति से श्यानता कम होती है। Na और K का श्यानता पर जल के समान प्रभाव होता है।

रायोलाइटी लावा बेसाल्टी लावा की तुलना में अधिक श्यान होता है। Na, Ca, Mg, और Fe की उपस्थिति श्यानता कम करती है। एक ही संघटन के मैग्मा में तापमान कम होने तथा दाब बढ़ने से निर्जल मैग्माओं की श्यानता में वृद्धि होती है। जल और वाष्पशील पदार्थों की मात्रा में वृद्धि से मैग्मा की श्यानता कम होती है।

घनत्व (Density)

मैग्माओं का घनत्व समतुल्य क्रिस्टलित शैलों की तुलना में 10 प्रतिशत (बेसाल्टी मैग्मा 2.70 से 2.85, ऐन्डेसाइटी मैग्मा 2.40–2.57 और ग्रेनाइटी मैग्मा 2.33 से 2.41) कम होता है।

रासायनिक गुण–धर्म (Chemical character)

मैग्मा के संघटन का अनुमान परोक्ष और अपरोक्ष दोनों विधियों से लगाया जा सकता है। लावा, जो वाष्प्शील पदार्थ हीन मैग्मा है, रासायनिक विश्लेषण के लिये सुगमता से उपलब्ध है। आग्नेय शैल यद्यपि लावा मैग्मा के पिंडित रूप है किन्तु उनके संघटन के आधार पर यह अनुमान लगाना कठिन है, कि उनकी उत्पत्ति जिस मूल मैग्मा से हुई है उसका संघटन क्या था? लावाओं और शैलों के रासायनिक विश्लेषणों के आधार पर यह कहा जा सकता है कि इसमें दो वर्गों के अवयव पाये जाते हैं।

स्थिर अवयव जो लगभग सभी मैग्माओं में न्यूनाधिक मात्रा में पाये जाते हैं। SiO_2, Al_2O_3, CaO, FeO, MgO, Fe_2O_3, K_2O, Na_2O तथा TiO_2 मुख्य स्थिर घटक हैं, तथा स्थिर घटकों का 98 प्रतिशत से अधिक भाग इन्हीं का होता है। मैग्मा में अस्थायी अवयवों की उपस्थिति आवश्यक नहीं है वाष्पशील तत्व और यौगिक इस वर्ग में आते हैं।

भूपर्पटी का रासायनिक संघटन
(Chemical composition of crust)

भूपर्पटी का ऊपरी भाग प्रायः 15 से 16 किमी की गहरायी तक आग्नेय एवं कायांतरित शैलों से निर्मित है। इनके ऊपर एक पतला आवरण अवसादी शैलों का होता है। आग्नेय शैलों का भाग लगभग 95%, कायांतरित शैलों का 4% एवं अवसादी शैलों का हिस्सा 1% होता है। भूपर्पटी में उपस्थित आग्नेय, अवसादी और उसके आधार पर संगणित भूपर्पटी के संघटन के बारे में प्रमुख भू–रासायनिकों (क्लार्क, वाशिंगटन, फुग्ट, सेडरहोम, गोल्डश्मिट) में मत भिन्नता है। आग्नेय शैलों का क्लार्क और वाशिंगटन द्वारा प्रतिपादित औसत संघटन नीचे सारणी में दिया गया हैं। यही मैग्मों का औसत संघटन है।

SiO_2	–	59.12
TiO_2	–	1.05
Al_2O_3	–	15.34
Fe_2O_3	–	3.08
FeO	–	3.80
MnO	–	0.124
MgO	–	3.49
CaO	–	5.08
Na_2O	–	3.84
K_2O	–	3.19
H_2O	–	1.15
P_2O_5	–	0.30
CO_2	–	010
योग	–	99.664

आग्नेय शैलों में यद्यपि सभी ज्ञात तत्व पाये जाते हैं, किन्तु केवल 9 यथा ऑक्सीजन (46.95%) सिलिकन (27.72%), एल्यूमिनियम (8.13%), लोहा (5.01%), कैल्शियम (3.63%), सोडियम (2.85%), पोटेशियम (2.60%), मैग्निशियम (2.09%), तथा टाइटैनियम (10.63%) सर्वसाधारण माने जा सकते है। यह आपस मे मिलकर समस्त 99.25% भाग बनाते हैं। उनमे से केवल (आक्साइड के रूप में) SiO_2, Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, MgO, CaO, K_2O, Na_2O के द्वारा अधिकतम भाग निर्मित होता है, फिर भी कुछ दुर्लभ तत्वों जैसे हाइड्रोजन फ्लोरिन, क्लोरिन,

गंधक आदि उनके वाष्पशील यौगिकों का शैल की रचना में विशेष महत्व होता है।

मैग्मा का क्रिस्टलन

(Crystallisation of Magma)

मैग्मा के संघटन के बारे में हमें कुछ ज्ञान प्राप्त हो चुका है। मैग्मा 1350–1400°C से ऊपर द्रव अवस्था में रहता है। जैसे ही इसके तापमान में गिरावट आती है तो शीतलन शुरू हो जाता है। शीतलन की प्रक्रिया के साथ ही क्रिस्टलों का बनना प्रारंभ हो जाता है। इस प्रक्रम को ही मैग्मा का क्रिस्टलन कहते हैं। क्रिस्टलन को हम किसी विलयन के अवक्षेपण या पातन (precipitation) प्रक्रम की तरह समझ सकते हैं। अगर मैग्मा के अंदर क्रिस्टलन के समय कोई बाधा न हो तो यह क्रिस्टल लगातार छोटे से बड़े होते जाते हैं। जैसे ही बेसाल्टिक मैग्मा का तापमान 1350–1400°C से नीचे आता है ऑलीवीन $\{(Mg,Fe)_2 SiO_4\}$ खनिजों का क्रिस्टलन शुरू हो जाता है। इसका मतलब मैग्नीशियम एवं लौह युक्त यानि फेरो मैग्नीशियम खनिजों का निर्माण शुरू हो जाता है। जैसे जैसे मैग्मा का शीतलन होता है आलीविन में मैग्नीशियम से लोहे की मात्रा बढ़ती जाती है। यह संघटनात्मक बदलाव आलिविन में परतों के रूप में विद्यमान रहता है जिसे मण्डलन कहते है। मैग्मा का तापमान कुछ और कम होने पर ऑलिविन के साथ दूसरे खनिजों का निर्माण शुरू हो जाता है। जैसे पाइराक्सीन, एम्फीबोल आदि। जैसे ही क्रिस्टल कुछ बड़े बनते है वह गुरूत्वाकर्षण के कारण नीचे बैठना शुरू हो जाते हैं। इस प्रक्रम को गुरूत्वीय पृथक्करण (gravitational segregation) या गुरूत्वीय विभेदन (gravitational differentiation) कहते हैं। ऑलिविन एवं पॉइराक्सीन के फैरोमैग्नीशियम खनिजों का मैग्मा से अलग होने पर शेष मैग्मा के रासायनिक संघटन में कैल्शियम, सोडियम, पोटेशियम एवं एल्यूमिनियम सघनता (concentration) बढ़ जाती है जिसके कारण नये खनिजों का निर्माण शुरू हो जाता है। इस तरह मैग्मा के संघटन में क्रमिक बदलाव लगातार होता रहता है जिसे प्रभाजीकरण (fractionation) या प्रभाजी क्रिस्टलन (fractional crystallisation) कहते हैं। जैसे–जैसे मैग्मा ठंडा होता रहता है उसमें निर्मित होने वाले खनिजों का रासायनिक संघटन एक अनुक्रम में बदलता रहता है। इस तरह खनिजों के निर्माण के अनुक्रम को कनाड़ा के खनिज वैज्ञानिक एन.एल.बोवेन ने बहुत अच्छी तरह समझाया जिसे बोवेन की अभिक्रिया श्रृंखला (Bowen's reaction series) के नाम से जानते हैं। उन्होंने अपनी प्रयोगशाला में मैग्मा के क्रिस्टलीकरण पर प्रयोग किया। बोवेन ने मैग्मा के शीतलन द्वारा खनिजों की एक श्रृंखला प्राप्त की इस श्रृंखला को ही बोवेन की अभिक्रिया श्रृंखला कहते हैं जो कि नीचे दर्शायी गयी है।

उपरोक्त श्रृंखला के खनिजों का भिन्न–भिन्न अनुपातों में संयोग होने पर विभिन्न प्रकार की आग्नेय शैलों का निर्माण होता

है। जैसे ऑलिविन की किसी शैल में अधिकता होने से ड्यूनाइट (Dunite) का निर्माण होता है। ऑलिविन के साथ पाइराक्सीन खनिज के आने पर वह शैल पेरीडोटाइट के नाम से जानी जाती है।

अग्निजात खनिज (Pyrogenetic minerals)

मैग्मा का शीतलन और क्रिस्टलन (crystallisation) जटिल प्रक्रम है, किन्तु खनिजों के क्रिस्टलन को चार भागों में बाँटा जा सकता है–

1. ओर्थो मैग्मीय (Ortho Magmatic)
2. पैग्मेटाइटी (Pegmatitic)
3. वाष्प खनिजीय (Pneumatolite)
4. उष्णजलीय (Hydrothermal)

1. ओर्थो मैग्मीय दशा में मैग्मा के मूल घटक विद्यमान रहते हैं। खनिजों का क्रिस्टलन लगभग 600° से 1300°C के बीच होता है। शैल के सभी आवश्यक और गौण खनिज इसी समय क्रिस्टलित होते हैं। ओर्थो मैग्मीय अवस्था में क्रिस्टलित खनिज अग्निजात/मैग्मीय अथवा आग्नेय कहलाते है।
2. पेग्मेटाइटी अवस्था में क्रिस्टलन 400° से 600°C के बीच होता है। ओर्थो मैग्मीय अवस्था का अवशिष्ट द्रव संलग्न शैलों में प्रवेश कर पेग्मेटाइटों की रचना करता है।
3. वाष्प खनिजीय अवस्था में तापक्रम पेग्मेटाइटी अवस्था से थोड़ा अधिक होता है। इस अवस्था में जल में अनेक तत्व विलीन रहते हैं, जो शैल के संस्पर्श में उनसे अभिक्रिया कर

टूरमलीन, बेरिल आदि खनिजों की रचना करते हैं। अनेक धात्विक निक्षेप भी इस अवस्था में उत्पन्न होते हैं।

4. उष्ण जलीय प्रक्रम में द्रव्य वाष्पशील अवस्था के समान ही होता है किन्तु तापमान अपेक्षाकृत कम होता है तथा ये द्रव्य अभिक्रिया के समान पृथ्वी सतह के अधिक पास तक परिवर्तन करने में समर्थ होते हैं। मैग्मा में सिलिका सबसे अधिक मात्रा में उपस्थित घटक है। आग्नेय खनिजों में क्वार्ट्ज और सिलिकेट खनिज सबसे मुख्य होता है।

5. सिलिकेट खनिजों की संरचना ज्ञात होने के पूर्व सिलिकेट खनिजों का वर्गीकरण सिलिसिक अम्लों के सिद्धांत के आधार पर किया जाता था। सिलिकेट खनिजों का वर्गीकरण संरचना के आधार पर किया जाता है। सैकड़ों सिलिकेट खनिजों में से आग्नेय शैलों में आवश्यक खनिजों के रूप में उपस्थित सिलिकेट खनिजों की संख्या बहुत कम है। प्रमुख आग्नेय खनिज वर्ग और उनकी सिलिकेट संरचना इस प्रकार है–

सिलिकेट संरचना	**खनिज**
स्वतन्त्र चतुष्फलकीय समूह	आलीवीन
एकल श्रृंखला संरचना	पायराक्सीन
द्वि श्रृंखला संरचना	एम्फीबोल
त्रिविम जाली संरचना	फेल्सपार, क्वार्टज, फेल्सपेथाइड
चादरवत संरचना	माइका

आग्नेय शैलों में शैलकर खनिजों का वर्गीकरण सिलिका की मात्रा के यथेष्ट होने या कम होने की प्रवृत्ति के अनुसार दो वर्गों में किया जा सकता है।

निम्न सिलिकीयन खनिज	**उच्च सिलिकीयन खनिज**
ल्यूसाइट	ओर्थोक्लेज
नेफलिन	अल्बाइट
ऐनेल्साइट	एनओर्थोक्लेज
ऑलीविन	विषमलंबाक्ष पाइराक्सीन
बायोटाइट	ओजाइट
	ईज़िरिन
	हार्नब्लेंड

आग्नेय शैलों के रूप

(Forms of igneous rocks)

आग्नेय शैलें मैग्मा के जमने से बनती है। मैग्मा पृथ्वी की सतह के नीचे द्रवीभूत शैल पदार्थ है जिसमें गैसें और वाष्पशील पदार्थ घुले रहते हैं। मैग्मा अपनी उत्पत्ति के स्थान से पृथ्वी की सतह की ओर उठता है जिस कारण उसके तापमान और दाब में कमी होती है और वह क्रमशः जमने लगता है। मैग्मा पृथ्वी की सतह के नीचे ही जमकर ठोस शैल की रचना कर सकता है अथवा ज्वालामुखी उद्गार के रूप में पृथ्वी की सतह के ऊपर आ सकता है। प्रत्येक ज्वालामुखी उद्गार के साथ विशाल भूमिगत क्रिया भी होती है। भूपृष्ट पर ज्वालामुखी क्रिया से लावा प्रवाह उत्पन्न होते हैं। लावा के ठंडा होने से ज्वालामुखी शैलों की रचना होती है। भूपटल पर निर्मित इन आग्नेय राशियों को वहिर्वेधी और भूमिगत संपिडित शैल राशियों को अंतर्वेधी (intrusive) या अंतःक्षिप्त (injected) शैलें कहा जाता है। अंतर्वेधी शैल, अनुवर्ती अनाच्छादन (denudation), या पृथ्वी की हलचलों से ही भूपटल पर दिखाई देती हैं। आग्नेय शैल राशियों के रूप मैग्मा के रासायनिक संघटन, तापक्रम, श्यानता, प्रवाह की गति, तथा जिन संस्तरों में वे अंतर्वेधित हो रहे हैं, उनके भौतिक और रासायनिक लक्षणों पर निर्भर होते हैं। आग्नेय शैलों के विभिन्न रूपों का वर्णन नीचे किया जा रहा है।

वहिर्वेधी आग्नेय शैलों के रूप

(Forms of extrusive igneous rocks)

लावा प्रवाह (Lava flow)

आग्नेय शैलों के बहिर्वेधी रूपों का निर्माण भूपटल पर ज्वालामुखी उद्गार द्वारा निर्मित होता हैं। लावा प्रवाह का रूप मैग्मा की तरलता रासायनिक संघटन एवं उसके तापमान पर निर्भर करता है। अल्पसिलिक लावा अधिक तरल होने की वजह से बहुत दूर तक प्रवाहित होते हैं जैसे बेसाल्ट जबकि अधिसिलिक लावा अधिक श्यानता होने के कारण उद्गार स्थल के आसपास ही ढेर बनाते हैं जैसे रायोलाइट।

ज्वालामुखी उद्गार लंबी संकरी दरारों में से विदर उद्गार अथवा विसवियस या एटना की भांति शंकु से होता है। विदर उद्गार से प्रायः सपाट (tabular) लावा प्रवाह उत्पन्न होते हैं। प्रवाहों की मोटाई, लंबाई और चौड़ाई में अलग–अलग स्थानों पर पर्याप्त भिन्नता पाई जाती है।

ज्वालामुखी के शांत उद्गारों में केवल लावा प्रवाह उत्पन्न होते हैं किंतु यदि उद्गार में विस्फोटी क्रिया का भी समावेश होता है तब ज्वालामुखी क्षिप्त (pyroclastic) पदार्थ भी पर्याप्त मात्रा में उत्पन्न होते हैं। ज्वालामुखी के समय विस्फोट के कारण भूपर्पटी छिन्न भिन्न होकर वायुमंडल में प्रक्षिप्त हो जाती है इसी के साथ गैसों और वाष्पशील पदार्थ के तेजी से बाहर निकलने के कारण लावा की फुहारें भी वायुमंडल में छिटक जाती है। यह सभी पदार्थ हवा में ठंडे होकर ज्वालामुखी शंकु के चारों और परत के रूप में एकत्रित हो जाते हैं। इस पदार्थ को पाइरोक्लास्ट

(pyroclastic) या ज्वालाश्मचयी (agglomerate) कहते हैं। इसमें उपस्थित खंडों का आकार बड़े कणों से लेकर धूल कण के बराबर हो सकता है। वे छोटे अंगार खंड, जिनका आकार अखरोट एवं मटर के बीच का होता है और जो बड़े खण्डों की अपेक्षा अधिक दूर तक उड़ जाते हैं, उन्हें ज्वालामुखी अश्मक (Lapilli) कहते हैं। सबसे सूक्ष्म कण धूल सदृश्य होते हैं जिसे ज्वालामुखी धूलि (dust) कहते हैं तथा यह ज्वालामुखी पर्वत के आस–पास निक्षेपित हो जाती है। उनके दृढ़ीभवन से स्तरें बन जाती हैं जो ज्वालामुखी टफ (tuff) कहलाती है। इसके लक्षण कई बार आग्नेय शैलों की अपेक्षा अवसादी शैलों से अधिक मिलते हैं।

ज्वालामुखी ग्रीवा (Volcanic neck)

ज्वालामुखी क्रेटर भूपृष्ट से नीचे स्थित मैग्माकक्ष से लगभग बेलनाकार मार्ग द्वारा जुड़ा रहता है। ज्वालामुखी क्रिया समाप्त हो जाने के बाद इस ग्रीवा मार्ग में मैग्नीय शैल अथवा पायराक्लास्टी पदार्थ जमा हो जाता है। जब इन क्षेत्रों में लावा प्रवाह और क्रेटर के पूर्ण अपरदन के फलस्वरूप यह ग्रीवा अनाच्छादित प्रदेशों में गुंबद के रूप में पायी जाती है। इस गुम्बदाकार आकृति को ही ज्वालामुखी ग्रीवा कहते हैं।

ज्वालामुखी शंकु के शीर्ष भाग के केन्द्र में एक वृत्ताकार गर्त उपस्थित रहती है। 1 कि.मी. से कम व्यास का गर्त क्रेटर (crater) और अधिक व्यास का गर्त काल्डेरा (caldera) के नाम से जाना जाता है।

अंतर्वेधी आग्नेय शैलों के रूप

(Forms of intrusive igneous rocks)

पृथ्वी की सतह के नीचे भूपर्पटी के स्तरों के बीच अंतःक्षिप्त मैग्मा के संपिंडन से निर्मित आग्नेय राशि के स्वरूप अंतर्वेधी स्वरूप कहे जाते हैं। यह रूप प्रदेश की भू वैज्ञानिक संरचना एवं संस्तरण तलों के संरचनात्मक लक्षणों (मुख्यतः अवलित, अल्पवलित अथवा वलित संस्तर) तथा शिष्टाभता आदि संरचनात्मक तलों से अंतर्वेधी शैल के संबंध पर निर्भर होते हैं। इस संबंध में दो प्रकार की भू–वैज्ञानिक संरचनाऐं मानी जा सकती है। पहले वे विशाल प्रदेश जहाँ संस्तर तल प्रायः समतल और अवलित हैं। ऐसे क्षेत्रों में तनाव के कारण उर्ध्वाकार विभंग उत्पन्न हो जाते हैं। दूसरे वे प्रदेश जहाँ शैल अत्यधिक वलित और संपीडित हो गये हैं। इसी प्रकार अंतर्वेधी राशि के क्षेत्रीय शैल के संस्तरण से संबंध के आधार पर भी वर्गीकरण किया जा सकता है। यदि मैग्मीय राशि का अंतक्षेपण संस्तर तलों के समानान्तर हुआ है तब शैल रूप अनुस्तर (concordant) और यदि मैग्मीय शैल क्षेत्रीय शैलों के संरचनात्मक तलों को काटते हुए अंतःक्षेपित हुआ है तब इस प्रकार के रूप को अननुस्तरी (transgressive) या अतिक्रामी (discordant) कहा जाता है। प्रमुख अंतर्वेधी राशियों का प्रादेशिक शैल संरचना और अंतःक्षेपण की प्रकृति के आधार पर वर्गीकरण तालिका में दर्शाया गया है (तालिका 3.1) ।

अवलित प्रदेशों में रूप

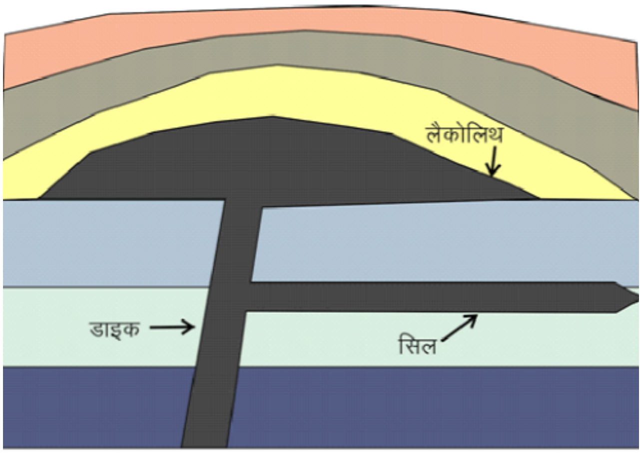
(Forms of Non-folded Provinces)

सिल (Sill)

'सिल' मैग्मीय शैल का अपेक्षाकृत पतला सपाट स्तर है जो प्रादेशिक शैलों के प्रमुख संरचना तलों जैसे संस्तरण तल, शिस्टाभता, विषम विन्यास आदि के समानान्तर मैग्मा (चित्र 3.1) के अंतःक्षेपण से निर्मित होता है। यह प्रायः अवलित संस्तरणों में पाई जाती है। सिल के ऊपरी और निचले तल समानान्तर होते हैं। मोटाई भी समान होती है, किन्तु मैग्मा के स्रोत से दूरी के साथ ये क्रमशः पतली होती है। सामान्यतः मोटाई लंबाई की तुलना में 1/10 या इससे कम रहती है। अधिक विस्तीर्ण 'सिल' के निर्माण के लिये मैग्मा की अधिक तरलता आवश्यक है इसलिए अधिकांश विस्तृत सिलें डोलेराइट तथा बेसाल्ट की होती है।

तालिका 3.1 : अंतर्वेधी आग्नेय शैलों के रूप

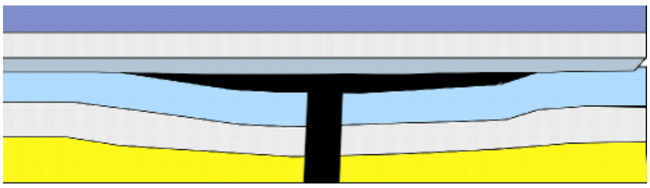
प्रादेशिक संरचना संस्तरण तल से सम्बन्ध	अवलित अथवा अल्पवलित क्षेत्रों में	अधिक वलित
अनुस्तरी (Concordant)	सिल (Sill)	फैकोलिथ (Phacolith)
	लैकोलिथ लोपोलिथ	अनुस्तरी महास्कंध (Batholith)
अननुस्तरी/अतिक्रामी (Discordant)	डाइक, शंकु चादर, ज्वालामुखी ग्रीवा, वलय भित्ति	अननुस्तरी महास्कंध (Batholith) स्कंध, वृत स्कंध
	वलय डाइक	कोनोलिथ



चित्र 3.1 : सिल, डाइक एवं लैकोलिथ

लैकोलिथ (Laccolith)

लैकोलिथ' उल्टे कटोरे के समान आग्नेय शैल रूप है जिनका निचला तल लगभग समतल तथा ऊपरी सतह उत्तल (चित्र 3.1) होता है। इस रूप के निर्माण के लिये यह आवश्यक है कि इस स्तर पर आने वाले मैग्मा की मात्रा इतनी अधिक होती है कि वह पार्श्वों में फैलकर समायोजित नहीं हो पाता है। यह स्थिति एसिडिक मैग्माओं में अधिक पाई जाती है क्योंकि इनकी अधिक श्यानता के कारण वे पार्श्वों में तेजी से नहीं फैल पाते हैं इस कारण गुंबद का आकार ले लेते है। लैकोलिथ का व्यास 1 से 8 कि.मी. तक होता है और अधिकतम मोटाई 1000 मीटर तक होती है। लैकोलिथ के शीर्ष में विभंग उत्पन्न होने पर इससे एक बेलनाकार पिंड ऊपर की ओर निकल जाता है। इस रूप को 'बिस्मैलिथ' (Bysmalith) नाम दिया गया है।



चित्र 3.2 : लोपोलिथ

भित्ती (Dyke)

'डाइक' सँकरी दीर्घित दीवार के समान समानान्तर पार्श्वों वाली आग्नेय राशि है जो आक्रांत शैल के संस्तरों एवं अन्य संरचना तलों को चीरती हुई उर्ध्वाकार (चित्र 3.1) अथवा नत दरारों में अंतर्वेधन से बनती है। इसकी मोटाई कुछ सेन्टीमीटर से लेकर 1 मीटर से अधिक हो सकती है परन्तु ज्यादातर कि मोटाई 3 मीटर से कम होती है। इनकी लंबाई कुछ मीटर से लेकर कई कि.मी तक हो सकती है। किसी भी क्षेत्र में लगभग सभी डाइक समानान्तर अथवा केन्द्र के चारों ओर अरीय होती है। यह पूर्व निर्मित दरार में अंतर्वेधित होती है।

लोपोलिथ (Lopolith)

'लोपोलिथ' यूनानी लोपास (lopas) शब्द से बना है जिसका अर्थ ''प्याला'' होता है। यह विशाल मसूराकार, ऊपरी केन्द्रीय भाग में प्याली के समान धंसी हुई अनुस्तरी आग्नेय (चित्र 3.2) राशि है जो अवलित अथवा अल्पवलित संस्तर वाले क्षेत्रों में पाई जाती है। इनका व्यास सैकड़ों किलोमीटर तक हो सकता है। मोटाई व्यास के दसवें से बीसवें भाग तक होती है।

वलय भित्ति (Ring dyke)

वलय भित्ति चापाकार दृश्यांश वाली ऐसी भित्ति जो पूर्णतया विकसित होने पर संपूर्ण वलयाकार दृश्यांश बनाये तथा नति तीक्ष्ण एवं केन्द्र से बाहर की ओर होती है वलय भित्ति कहलाती है। इनकी त्रिज्या 4–5 कि.मी. तक हो सकती है। भित्तियों के जटिल पुंजों में भित्तियाँ आपस में समानान्तर होती है तथा प्रादेशिक शैल के आवरण भित्तियों को एक दूसरे से अलग करते हैं। वलय भित्तियों का निर्माण पृथ्वी के शंकु आकार के खंडों के मैग्मा कक्ष में निमज्जन के फलस्वरूप उसके चारों और उत्पन्न दरारों में मैग्मा भर जाने से होता है।

शंकु चादर (Cone sheet)

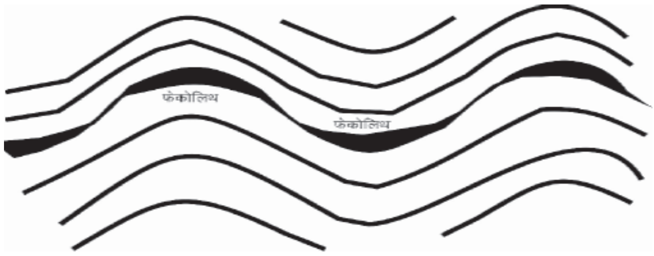
वलय भित्ति के समान चापाकार आकृति वाली भित्तियाँ जो वलय के केन्द्र की ओर 30° से 40° तक नति दर्शाती है शंकु चादर कहलाती है। यह शंकु चादर जटिल संघ के रूप में पाये जाते हैं यह माना जाता है कि इनकी उत्पति उल्टे शीर्ष वाले शंकु आकार के विदरों में मैग्मा के आपूर्णन से हुई है।

वलित प्रदेशों में रूप (Forms of folded provinces)

वलित प्रदेशों में प्रादेशिक शैलों की जटिल संरचना और विभंग तलों की अनियमितता के कारण इन प्रदेशों में आग्नेय अंतर्वेधी राशियों के रूप भी अपेक्षाकृत जटिल होते हैं। इन रूपों में फेकोलिथ और बेथोलिथ प्रमुख हैं। इनके अतिरिक्त भी अनेक रूप पाये जाते हैं।

फेकोलिथ (Phacolith)

यह वक्र उभयोत्तल लेन्स आकार की आग्नेय राशि है जो



चित्र 3.3 : फैकोलिथ

वलन में संस्तरण के समानान्तर वलनीय शीर्ष व द्रोणियों में निर्मित होते हैं। वलन के शीर्ष व द्रोणियों पर दुर्बलता और तनाव के क्षेत्र बन जाते हैं तथा मध्यवर्ती भुजायें संपीडित हो जाती है इसलिये अंतर्वेधन के समय मैग्मा शीर्ष और द्रोणियाँ (चित्र 3.3) में एकत्रित होने की चेष्टा करता है तथा इस तरह फैकोलिथ की रचना हो जाती है।

महास्कंध (बैथोलिथ, Batholith)

'बैथोलिथ' ज्ञात अंतर्वेधी आग्नेय राशियों मे सबसे बड़ी आकृति है जिनके पार्श्वों का ढाल खड़ा होता है एवं उनकी तली अज्ञात गर्भ तक चली जाती है जिसके कारण सुविज्ञ नही होती है। बैथालिथ पृथ्वी की सतह के बहुत नीचे मैग्मा के ठोस होने से बनी थी किन्तु कालांतर में ऊपरी आवरण में भूपटल पर दिखाई देने लगी है। बैथोलिथ के सामान्य लक्षण इस प्रकार हैं–

1. ये वलित पर्वतन क्षेत्र में स्थित होते हैं।
2. इनका अभिस्थापन पर्वतन क्रिया प्रारंभ होने के पूर्व से लेकर पर्वतन क्रिया के किसी भी चरण में हो सकता है।
3. इनका शीर्ष अनियमित गुंबद के आकार का तथा पार्श्व खडा ढाल दर्शाते हैं।
4. यह गहराई में अज्ञात गर्भ की ओर क्रमशः चौड़े होते जाते हैं।
5. यह प्रायः ग्रेनाइट ग्रेनोडायोराइट शैलों के बने होते हैं।
6. 'बैथोलिथ' का दृश्यांश कम से कम 100 वर्ग कि.मी. होना चाहिए।

स्कंध (Stock) एवं वृत्त स्कंध (Boss)

यह बैथोलिथ का लघु रूप है जो कि अनियमित आकार में होता है तथा स्कंध कहलाता है। इसके दृश्यांश की सीमा 100 वर्ग किलोमीटर से कम होता है। यदि स्कंध का दृश्यांश वृत्ताकार हो तब उसे वृत्त स्कंध कहते हैं। यह भी बैथोलिथ का ही एक रूप है।

आग्नेय शैलों की संरचनाएँ (Structures of igneous rocks)

किसी भी शैल की संरचना और गठन में स्पष्ट भेद करना अत्यधिक कठिन है। संरचना के अंर्तगत कुछ वृहत्ताकार लक्षण सम्मिलित किये जाते हैं। जैसे खंडमय अथवा रज्जुक पृष्ठ, शिरोधानी, प्रवाही पट्ट रचना, संधि आदि। इसके विपरीत गठन के अंर्तगत शैल की क्रिस्टलता, कणों का आकार और आकृति तथा शैल निर्माणी घटकों के पारस्परिक संबंध का अध्ययन किया जाता है।

खंड लावा (Blocky lava), आ–लावा (Aa lava), रज्जुक अथवा पाहोइहोइ लावा (Ropy or Pahoehoe Lava)

अत्यधिक गतिशील लावा प्रवाहों के पृष्टतल कांचाभ, चिकने और अत्यधिक चमकदार होते हैं। ऐसे लावा प्रवाहों की ऊपरी सतह पर डामर/पिंच के समान झुर्रिया रज्जुक व मोटे धागों के रूप बन जाते हैं। लावा की पृष्ट पर फफोले पड़ जाते हैं। इस संरचना को रज्जुक या पाहोइहोइ लावा कहा जाता है। यह अपेक्षाकृत कम क्रिस्टलीय होता है तथा इसमें बहुत अधिक संख्या में नियमित और प्रायः गोलाकार गुहिकाएँ उपस्थित रहती हैं।

"आ" लावा की सतह अत्यधिक रूक्ष, खुरदरी और खंडित होती है। ऊपरी सतह स्फोटगर्ती संरचना दर्शाती है जिसकी तुलना भट्टी से निकले क्लिंकर से की जा सकती है। क्लिंकर खंडों का व्यास साधारणतः 5 से.मी. से कम होता है। किन्तु कभी–कभी कुछ खंडों का व्यास मीटर में नापा जा सकता।

खंड (block) लावा की सतह खंडित होती है किन्तु खंड 'आ' लावा की तुलना में अपेक्षाकृत कम खुरदरे होते हैं। इस प्रकार के लावा प्रवाहों की सतह अनियमित होती है जिसमें कई मीटर का उच्चावचय हो सकता है। उच्च श्यानता के कारण लावा का प्रवाह खंडित हो जाता है।

"रज्जुक", "आ" और ब्लाक लावा में पूर्ण क्रमण पाया जाता है। सामान्यतः उद्गार के प्रारंभ में रज्जुक लावा पाया जाता है। जो प्रवाह के साथ आगे क्रमशः "आ" और ब्लाक लावा में क्रमित होता जाता है। अनेक प्रवाह "आ" अथवा "ब्लाक" लावा प्रवाह के रूप में भी प्रारंभ होते हैं।

शिरोधान संरचना (Pillow Structure)

यह तरल लावाओं में बनने वाली संरचना है। तरल लावा के ठंडा होने से उसकी ऊपरी सतह पर एक पपड़ी जम जाती है, तथा लावा प्रवाह का ह्रास हो जाता है, फिर इस पपड़ी दरारों में वापिस लावा फूट पड़ता है तो वो वापस बहने लगत है, इस प्रकार प्रत्येक बड़े प्रवाह का स्थान कई छोटे–छोटे प्रवाह ले लेते

चित्र 3.4 : शिरोधान संरचना

हैं, फलतः इन छोटे प्रवाहों से एक और छोटा प्रवाह (बहिर्वेध) निकलता है, जो तुरन्त ही एक शिरोधान यानि तकिये (चित्र 3.4) के रूप में जम जाता है। इसे ही शिरोधान संरचना कहते हैं।

प्रवाही संरचना (Flow structure)

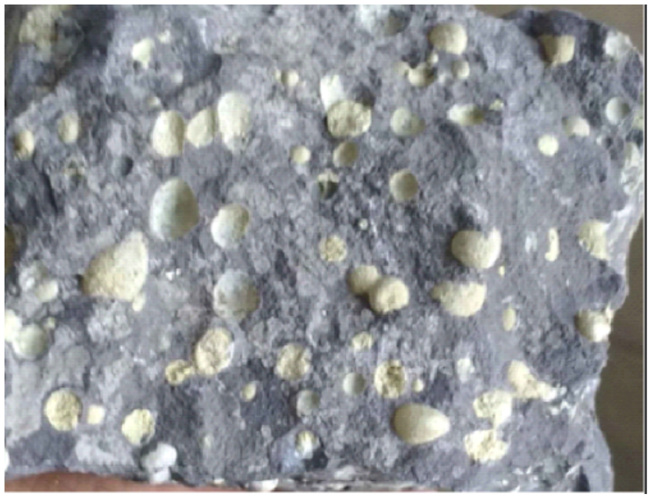
लावा उदगार के समय अथवा उसके तत्काल बाद पूर्णरूप से समांगी नहीं होता इसके स्तर अथवा खंडो में कुछ अंशों तक संघटन, उपस्थित गैसों की मात्रा, क्रिस्टलन की मात्रा, श्यानता आदि में अंतर पाया जाता है। प्रवाह के समय ये स्तर/खंड समानान्तर पट्टियों, धारियों, समानान्तर दीर्घित मसूराकार राशियों, रेखाओं आदि में व्यवस्थित हो जाते हैं। इन भागों में रासायनिक, खनिजीय एवं गठनात्मक अथवा रंग में अल्पभेद होता है। इसे प्रवाही संरचना कहा जाता है। रायोलाइट और ट्रेकाइटी लावा प्रवाहों में यह संरचना अधिक स्पष्ट रूप से प्रदर्शित होती है। तप्त लावा प्रवाह की ऊपरी सतह आक्सीकरण के कारण लाल हो जाती है।

स्फोटगर्ती तथा वातामकी संरचना (Vesicular and Amygdaloidal Structures)

अधिकांशतः लावाओं में अत्यधिक गैसें सन्निहित होती हैं। जो लावा के धरातल पर आने के बाद बाहर निकलने लगती हैं। पर जल्दी ही लावा की ऊपरी सतह ठण्डी होकर ठोस हो जाती हैं जिसकी वजह से गैसें लावा के अन्दर ही बंद हो जाती हैं। पर जहां–जहां गैसे रहती हैं, वहां उनके आयतन के अनुसार गुहिकाएं या स्फोटगर्त उत्पन्न हो जाते हैं, उनकी विभिन्न प्रकार की आकृतियां होती है जैसे बेलनाकार, गोलाकार आदि, इन्हें की

चित्र 3.5 : स्फोटगर्ती (Vesicular) संरचना

स्फोटगर्ती (Vesicular) संरचना कहते हैं (चित्र 3.5)। स्फोटगर्तों में बाद में खनिजों के भर जाने से बनी आकृतियों को वातामक (Amygdale) कहते हैं (चित्र 3.6)। ये आकृतियां कभी–कभी दिखने में बादाम के सदृश्य होती हैं।



चित्र 3.6 : वातामकी संरचना

स्कोरेशियस और प्यूमिस संरचना (Scoriaceous and pumice structure)

बेसाल्टी लावा की तुलना में अधिसिलिक लावाओं की श्यानता तथा उसमें घुले वाष्पशील पदार्थ की मात्रा अधिक होती है। जिस लावा में गुहिकाएँ अत्यधिक परिमाण में तथा अनियमित आकृति की होती है, ऐसी संरचना को स्कोरेशियस (scoriaceous) संरचना कहते है। यदि गुहिकायें बहुत अधिक और अत्यधिक छोटी होती है तब शैल स्पंज के समान दिखने लगता है। इसे प्यूमिस कहते हैं।

संकेन्द्री/आरबिकुलर संरचना (Concentric/ orbicular structure)

कुछ वितलीय शैलों में कभी–कभी गोलाकार गेंद के समान पृथक्कृत आकृति की संरचनाएँ पाई जाती है जो कुछ से.मी. से कुछ मीटर तक हो सकती है। इनमें फेल्सिक और मैफिक संघटन के संकेन्द्री कवच पाये जाते हैं। प्रत्येक कवच में कणों का विन्यास समकणिक अथवा अरीय होता है।

रापाकिवी संरचना (Rapakivi structure)

रापाकिवी संरचना में भी शैल में गेंद के आकार की आकृतियाँ पाई जाती हैं जिनमें कुछ से.मी. व्यास का केन्द्रीय भाग बड़े पोटाश फेल्सपार कणों का बना होता है, चारों ओर से सोडा प्लेजिओक्लेज से घिरा होता है।

स्फेरूलाइटी संरचना (Spherulite structure)

स्फेरूलाइटी संरचना में गेंद की आकृतियाँ पाई जाती हैं प्रत्येक गोले में एक सार्व केन्द्र के चारों ओर तन्तु के समान स्फेरूलाइटी क्रिस्टल अपसारी/अरीय विन्यास में स्थापित रहते हैं। स्फेरूलाइट का आकार कुछ मि.मी. से लेकर 3 मीटर तक और वृद्धि गोल खंड में हो सकती है। स्फेरूलाइटों में प्रायः सकेन्द्री रेखाएं भी हो सकती है।

अपराश्म (Xenolith) संरचना

आग्नेय शैलों में पूर्ववर्ती स्थानीय शैल के खंड अंतर्विष्ट हो जाते हैं तब इन खंडों को अपराश्म (जीनोलिथ) या अंतर्वेश कहते हैं। यह बैथोलिथों, सिलों एवं डाइकों के अभिस्थापन (Emplacement) के समय होता है।

संधियाँ (Joints)

संधि शैल में उपस्थित ऐसा विभाजन तल है जिस पर संचलन नहीं होता है। यह तल प्रायः समतल होते हैं। एक ही दिशा में विकसित संधितल समानान्तर होते हैं और एक दूसरे से निश्चित दूरी पर होते हैं। संधियाँ किसी भी दिशा में क्षैतिज से लेकर आनत या उर्ध्वाकार हो सकती है।

जब शैल में क्षैतिज संधि तल सुविकसित और पास–पास होते हैं तब इन्हें चादर (sheet) संधि कहा जाता है। यदि शैलों में समीपतः विन्यासित संधियों का केवल एक समुच्चय विकसित होता है तब उसे प्लेटी संधि कहते है। म्यूरल (mural) संधि में शैल तीन संधि समुच्चय, जो एक दूसरे से लंबवत होते हैं, विकसित होते हैं। एक समुच्चय क्षैतिज और अन्य दो उर्ध्वाधर होते हैं। तीनों समुच्चयों में संधि तलों के बीच का अंतर बराबर होने से शैल लगभग घनाकार खंडो में विभाजित हो जाता है।

स्तंभी (Columnar) एवं प्रिज्मीय (Prismatic)

किसी शैल में संधितल यदि इस प्रकार विकसित हो कि उनके एक दूसरे को काटने के कारण शैल स्तंभी एवं प्रिज्मीय रूप धारण करलें तब इन संधियों को स्तंभाकार (columnar) और प्रिज्मीय (prismatic) संधि (चित्र 3.7) कहते हैं। स्तंभ व प्रिज्म 4–5–6 या 8 पार्श्व युक्त होते हैं।

इन संधियों की उत्पत्ति समांग मैग्मा के एक समान शीतलन एवं संकुचन के फलस्वरूप उत्पन्न विभाजन तलों के कारण होती है। जब प्रतिबलों का मान शैल दृढ़ता से अधिक हो जाता तब इन रेखाओं के लंबवत् संधितल उत्पन्न होते हैं, जो आपस में एक दूसरे को इस प्रकार काटते हैं कि एक बहुमुखी (छः भुजी सामान्यतः) आकृति बन जाती है। यदि संकुचन केन्द्रों के बीच अनियमित दूरी होती है तब विभिन्न आयाम के चार, पांच, सात या आठ पार्श्व युक्त प्रिज्म निर्मित होते हैं।

चित्र 3.7 : स्तंभाकार एवं प्रिज्मीय संधि

अनुपाट (Rift) और उत्पाट (Grain)

रिफ्ट और ग्रेन वे लक्षण हैं जिनका प्रयोग शैल खनन के समय किया जाता है। शैल जिस दिशा में अत्यधिक सुगमता से विभक्त हो सकता है, उसे अनुपाट कहते हैं। अनुपाट के लंबवत् सरल विपाटन की दूसरी दिशा ग्रेन/उत्पाट होती है। इन दोनों की विपाटन की दिशा होने के कारण समानार्थी माना जा सकता है।

आग्नेय शैलों का वर्गीकरण

(Classification of igneous rocks)

कुछ प्रमुख शैलों का अध्ययन 11वीं कक्षा में किया जा चुका है, अन्य महत्वपूर्ण शैलों का विवरण निम्न है –

वर्गीकरण हमें किसी भी समस्या का सरलतापूर्वक क्रमबद्ध हल प्रदान करता है पर आग्नेय शैलों के वर्गीकरण के संबंध में एकता नहीं है। फिर भी वर्गीकरण की अनेक पद्धतियाँ प्रतिपादित की गई है, किन्तु कोई भी एक वर्गीकरण पूर्ण रूप से मान्य नही हुआ है। क्योंकि प्रत्येक वर्गीकरण में उद्देश्यों की विभिन्नता होने के साथ ही प्रयुक्त आधारों में भी अत्यधिक विभिन्नता है।

आग्नेय शैलों के वर्गीकरण के चार प्रधान आधार है यथा रासायनिक खनिजीय, गठनीय तथा सहचार्य जिसमें भौगोलिक वितरण एवं भूविर्वतनिक प्रक्रमों से संबंध अंतर्भूत हो।

किसी भी अन्य समूह के पदार्थों के वर्गीकरण के समान ही आग्नेय शैलों का उद्भव पर आधारित वर्गीकरण भी एक आदर्श वर्गीकरण होगा।

पूर्व में वर्गीकरण शैल नमूनों के आधार पर करते थे जो कि स्थूल लक्षणों पर आधारित थे। ध्रुवण सूक्ष्मदर्शी और शैल रासायनिकी

के प्रवेश के साथ वर्गीकरण अधिक समष्टि, विस्तृत और जटिल होते गये। वर्तमान में आग्नेय शैलों के वर्गीकरणों को तीन स्थूल वर्गों में रखा जा सकता है–

1. रासायनिक वर्गीकरण – ये शैलों के रासायनिक संघटन पर आधारित है।
2. गठनीय वर्गीकरण – ये शैलों के गठन और भू–वैज्ञानिक उपस्थिति पर आधारित हैं।
3. खनिजीय वर्गीकरण – ये शैलों के खनिज संघटन, प्रकार और मात्रा पर आधारित है।

इनके अतिरिक्त कुछ वर्गीकरणों में इनमें से एक से अधिक आधारों का समन्वय किया गया है। इन सब आधारों को मिलाकर एक सारणीबद्ध वर्गीकरण भी किया गया है जो आग्नेय शैलों के अध्ययन हेतु सबसे उचित है।

1. **रासायनिक वर्गीकरण** (Chemical Composition) : रासायनिक वर्गीकरण शैलों अथवा उनके परिकल्पित मैग्माओं के रासायनिक संघटन पर आधारित होते हैं। इनका सर्वाधिक महत्व शैलों की उत्पत्ति की विवेचना में है। रासायनिक वर्गीकरणों में सी.आई.पी.डब्लू और निग्ली के वर्गीकरण अधिक प्रयुक्त और उपयोगी माने जाते हैं। 1903 में चार अमरीकी शैल वैज्ञानिकों क्रास (Cross), इडिंग्ज (Iddings) पिरसन (Pirsson) और वाशिंगटन (Washington) ने जो वर्गीकरण प्रस्तावित किया था वह उनके नाम के पहले वर्ण के आधार पर C.I.P.W वर्गीकरण नाम से जाना जाता है। इस वर्गीकरण में शैल के रासायनिक संघटन से खनिज रचना के ज्ञात सिद्धांतों के आधार पर बनाये गये निश्चित नियमों के अनुसार तदनुरूप मानक (norms) खनिज समुदाय की गणना की जाती है।

मानक खनिज दो वर्गों में विभक्त किये गये हैं–

एक सैलिक (Sialic) दूसरा फैमिक (Femic) जिनमें सबसे महत्वपूर्ण घटक निम्नांकित हैं–

सैलिक खनिज		**फैमिक खनिज**
क्वार्ट्ज	–	डाइआप्साइट
आर्थोक्लेज	–	हायपरस्थीन
एल्बाइट	–	एक्माइट / ईजिरीन
अनार्थाइट	–	आलीवीन
ल्यूसाइट	–	वोलेस्टोनाइट
नेफलीन	–	मेग्नेटाइट
कोरंडम	–	इल्मेनाइट
जिरकान	–	हेमेटाइट
–	–	एपेटाइट

इस वर्गीकरण का सबसे प्रमुख उपयोग आग्नेय शैलों के तुलनात्मक अध्ययन में होता है।

इसके अतिरिक्त एक और वर्गीकरण है जो कि सिलिका की उपस्थिति के आधार पर किया गया है। वो इस प्रकार है –

(i) अतिसंतृप्त (Oversaturated) शैलें, जिनमें मैग्मीय उद्भव की मुक्त सिलिका हो।
(ii) संतृप्त (Saturated) शैलें, जिनमें संतृप्त खनिजीय हो।
(iii) असंतृप्त (Unsaturated) असंतृप्त शैलें जिनमें असंतृप्त खनिज विद्यमान हो।

निग्ली का वर्गीकरण (Niggli classification) : पाल निग्ली द्वारा प्रस्तावित वर्गीकरण में मानक खनिज समुच्चय के स्थान पर निश्चित नियमों के अनुसार निग्ली मान की गणना की जाती है। इन मानों को प्राचल मानते हुए निग्ली ने शैलों को आगे वर्गीकृत किया है।

2. **गठन और भू–वैज्ञानिक उपस्थित की अवस्था पर आधारित वर्गीकरण** (Classification on the bases of texture and state of geological occurrence) : आग्नेय शैलों का गठन उनके शीतलन इतिहास का सूचक होता है अर्थात भू–वैज्ञानिक उपस्थिति अवस्था को व्यक्त करता है। सामान्यतः पूर्ण, स्थूल एवं समकणिक क्रिस्टल शैल मैग्मा के धीमी गति से ठंडा होने एवं अधिक दाब के कारण वितलीय (plutonic) क्षेत्र में निर्मित होते है। ज्वालामुखी शैलों में वाष्पशील पदार्थ के निष्कासन कम दाब और तीव्र गति से शीतलन के कारण कणों का आकार छोटा होता है। यदि कणों के आकार में स्पष्ट अंतर पाया जावे तो वह क्रिस्टलन की दो अवस्थाओं का सूचक होता है। ऐसी परिस्थितियाँ अधिवितलीय (hypabyssal) क्षेत्र में पाई जाती है।

3. **खनिजीय वर्गीकरण** (Mineralogical classification) : आग्नेय शैलों के वर्गीकरण में शैलों का खनिज संघटन (प्रकार और मात्रा) अन्वेषकों तथा विद्यार्थियों के लिए सबसे अधिक उपयोगी आधार है। खनिज अपेक्षाकृत शीघ्रता व सुगमता से पहचाने जा सकते हैं, तथा उनकी आपेक्षिक मात्रा का आकलन भी काफी हद तक ठीक किया जा सकता है।

अधिकांश आग्नेय शैलों में केवल कुछ खनिज ही अधिक मात्रा में पाये जाते हैं जिन्हें आवश्यक (essential) खनिज कहते हैं। इनके अतिरिक्त अन्य खनिजों की उपस्थिति गौण (accessory) होती है तीसरे उत्तरजात (secondary) खनिज होते हैं। वे खनिज जो मैग्मीय क्रिस्टलन से उत्पन्न होते हैं प्राथमिक (primary) खनिज कहलाते हैं। इसके विपरीत बाद में होने वाले अपक्षय, कायांतरण अथवा अन्य क्रियाओं द्वारा निर्मित खनिज द्वितीयक या उत्तरजात खनिज कहलाते हैं। आवश्यक खनिजों को भी दो भागों में बाँटा जा सकता है। जिन खनिजों की समुचित मात्रा में उपस्थिति शैल की पहचान के लिये आवश्यक है जो खनिज

अल्प मात्रा में उपस्थित होते हैं और उनकी उपस्थिति अथवा अनुपस्थिति में शैल की परिभाषा पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता वे गौण खनिज कहलाते हैं।

एक ओर वर्गीकरण किया गया है जो कि फेल्सिक एवं मैफिक खनिज समूहों पर आधारित है। फेल्सिक शब्द फेल्सपार, फेल्सपैथॉइड तथा सिलिका से बनाया गया है एवं मैफिक शब्द फेरा मैग्नीशियम अर्थात लोहे एवं मैग्नीशियम से बना है।

फेल्सिक	मैफिक
क्वार्ट्ज	अभ्रक
फेल्सपार	पाइरॉक्सीन
फेल्सपैथॉइड	ऐम्फिबोल
	ऑलिविन
	लोह–ऑक्साइड
	ऐपाटाइट, इत्यादि

फेल्सिक समूह के खनिज अपेक्षाकृत हल्के रंग के, देर से क्रिस्टलित होने वाले एवं कम आपेक्षित घनत्व वाले होते हैं। जबकि मैफिक खनिज गहरे रंग के, पहले क्रिस्टलित होने वाले एवं अधिक आपेक्षिक घनत्व वाले होते हैं। फैल्सिक खनिजों वाली शैलें हल्के वर्ण यानि अल्पवर्णी (leucocratic) तथा गहरे वर्ण यानि श्यामवर्णी (melanocratic) रूपों की ओर इंगित करती है।

4. **सारणीबद्ध वर्गीकरण** (Tabular classification) : आग्नेय शैलों के विभिन्न वर्गीकरणों में प्रत्येक के अपने गुण दोष हैं। कोई भी एक वर्गीकरण सामान्य भू–वैज्ञानिक की आवश्यकता पूर्ण नहीं करता है। अतः सारणीबद्ध वर्गीकरण (तालिका 3.2) में खनिज संघटन, शैलों की भू–वैज्ञानिक उपस्थिति की अवस्था और गठन को महत्व दिया गया है जो कि आग्नेय शैलिकी के के लिये अधिक उपयोगी है।

औसत आग्नेय शैलों में लगभग 75 प्रतिशत भाग फेल्सिक खनिजों का होता है, इसलिये उर्ध्वाधर विभाग तीन प्रमुख फेल्सिक समुदायों क्वार्ट्ज, फेल्सपार व फेल्सपेथाइड के पारस्परिक अनुपात पर आधारित हैं। क्वार्ट्ज और फेल्सपार वाले शैलों को अतिसंतृप्त, केवल फेल्सपार युक्त शैल संतृप्त और केवल फेल्सपैथाइड एवं फेल्सपार युक्त असंतृप्त शैलें होती है। पोटाश फेल्सपार अथवा प्लेजिओक्लेज की उपस्थिति के आधार पर दो वर्ग किये गये हैं इसी प्रकार संतृप्त वर्ग को पोटाश फेल्सपार युक्त सोडिक प्लेजिओक्लेज युक्त और केल्सिक प्लेजिओक्लेज की प्रमुखता के आधार पर तीन वर्गों में विभाजित किया गया है। असंतृप्त वर्ग को फेल्सपेथाइड के साथ फेल्सपार एवं मैफिक खनिजों की उपस्थिति के आधार पर तीन वर्गों में ही विभाजित किया गया है आखरी वर्ग में मैफिक शैलों को रख गया है।

क्षैतिज वर्गीकरण वितलीय, अधिवितलीय तथा ज्वालामुखी वर्गों में किया गया है। प्रत्येक वर्ग के सामान्य लाक्षणिक गठन उसके साथ दिये गये हैं अधिवितलीय वर्ग में गठनों के प्रारूप का विस्तार अनेक उर्ध्वाधर वर्गों में फैला हुआ है। उदाहरण के लिये पेग्मेटाइट, एप्लाइट, लेम्प्रोफायर आदि। किसी भी विशिष्ट वर्ग का खनिज संघटन व्यक्त करने के लिये उस वर्ग के वितलीय शैल का नाम उपसर्ग की भांति पहले उपयोग करने से उस शैल के विशिष्ट वर्ग का पता चलता है उदाहरण ग्रेनाइटी पार्फिरी, सायनाइट एप्लाइट आदि।

कुछ आग्नेय शैलों का अध्ययन

(Study of some Igneous Rocks)

कुछ प्रमुख आग्नेय शैलों का अध्ययन कक्षा 11 में किया जा चुका है, अन्य महत्वपूर्ण शैलों का विवरण निम्न है।

1. गेब्रो (Gabbro)

गेब्रो मध्यम से स्थूल कणी, अंश फलकीय अथवा अफलकीय कणों से निर्मित पूर्ण क्रिस्टलीय, समकणी, श्याम वर्णी शैल है। प्लेजियोक्लेज (लेब्रेडोराइट) एवं पाइरॉक्सीन (ओगाइट) सामान्य खनिज होते हैं। डायलेज, हाइपरस्थीन, डायोप्साइड और ऑलीवीन भी पाये जाते हैं। इनके अतिरिक्त हॉर्नब्लेंड, बायोटाइट और क्वार्ट्ज भी गौण खनिजों के रूप में पाये जाते हैं। इसके अलावा इल्मेनाइट, क्रोमाइट, मैग्नेटाइट आदि अल्प मात्रा में तथा एपेटाइट, रूटाइल, स्फीन एवं जिरकन अत्यल्प मात्रा में उपस्थित रहते हैं। गैब्रो की उत्पत्ति वितलीय अवस्था में बेसिक या अल्पसिलिक मैग्मा के मंद शीतलन से हुई है। गैब्रो का उपयोग निर्माणकारी पदार्थ के रूप में सड़क, पुल, बाँध, भवन आदि निर्माणों में किया जाता है।

2. डोलेराइट (Dolerite)

गेब्रो के अनुरूप संघटन वाली मध्यम से सूक्ष्म कणी प्रायः डाइक और सिल के रूप में पायी जाने वाली शैल को सामान्यतः डोलेराइट के नाम से जाना जाता है। सामान्यतः श्यामवर्णी शैल है। इसका मुख्य गठन एफिटिक है। अंशफलकीय कणिक अथवा अंतराकणिक गठन भी पाया जाता है। प्लेजियोक्लेज (लेब्रेडोराइट) एवं पाइरॉक्सीन (ओजाइट) प्रमुख खनिज हैं। अल्प मात्रा में ऑलीवीन भी पाया जाता है। कुछ क्वार्ट्ज एवं फेल्सपार भी मिलता है। हाइपरस्थीन भी उपस्थित रहता हैं कभी–कभी हॉर्नब्लेंड और बायोटाइट भी अल्प मात्रा में पाये जा सकते हैं। इल्मेनाइट, मैग्नेटाइट और एपेटाइट गौण खनिज के रूप में उपस्थित रहते हैं। बेसिक मैग्मा का क्रिस्टलन से अधिवितलीय अवस्था में हुआ। पॉर्फिरिटिक गठन यह दर्शाता है कि दीर्घ क्रिस्टल एवं मेट्रिक्स अलग अलग स्थानों पर क्रिस्टलित हुए।

तालिका 3.2 : आग्नेय शैलों का सारणीबद्ध वर्गीकरण

	अतिसंतृप्त			संतृप्त			असंतृप्त		
	I स्फटिक	II स्फटिक + फेल्सपार		III फेल्सपार			IV फेल्सपार + फेल्सपैथॉइड	V फेल्सपैथॉइड	VI मैफिक खनिज प्रमुख
		आर्थोक्लेज प्रमुख	प्लेजिऔक्लेज प्रमुख	क्षारीय सोडा फेल्सपार प्रमुख (ऑर्थो.एल्बा)	सोडा चूनीय प्लेजिऔक्लेज प्रमुख	चूनीय सोडा प्लेजिऔक्लेज प्रमुख			
वितलीय फेल्सिक मेफेल्सिक मेफिक	आग्नेय स्फटिक शिलाएँ (ऐरिजोनाइट साइलेक्साइड)	ग्रेनाइट X	ग्रैनोडायोराइट (टोनैलाइट) X	सायनाइट X X	डायोराइट X X	ऐनॉर्थोसाइट गैब्रो X	नेफेलिन–सायनाइट थेरालाइट और टेशनाइट X	X इजोलाइट X	पेरिडोटाइट पिक्राइट
उपवितलीय		← ऐप्लाइट → ← पॉरफिरियाँ → ग्रैनोफायर फेल्साइट ← पिच स्टोन →	← लैम्प्रोफायर →		डॉलेराइट टैकीलाइट		टिगुंआइट		
ज्वालामुखी	← पिच स्टोन → ← ऑब्सीडियन →	रायोलाइट	डेसाइट	ट्रेकाइट	ऐन्डेसाइट टैकीलाइट	बेसाल्ट	फोनोलाइट	ल्यूसिटोफायर नेफेलिन.बेसाल्ट ल्यूसाइ.बेसाल्ट	आलिवीन समृद्ध बेसाल्ट लिम्बुरगाइट
सिलिका की औसत प्रतिशत मात्रा	90	72	56	59	57	48	54.5	43	41

3. सायनाइट (Syenite)

शैल का वर्ण श्वेत, हल्का भूरा, गुलाबी लाल या फीका हरा होता है। सामान्यतः दृश्य क्रिस्टली शैल है जिसमें एल्कली फेल्सपार (आर्थोक्लेज, माइक्रोक्लीन और एल्बाइट) प्रमुख खनिज हैं। केल्सिक एल्कली प्लेजियोक्लेज (ऑलीगोक्लेज) भी पाया जाता है। क्वार्ट्ज या तो नहीं पाया जाता या 5% से कम होता है। शैल सामान्यतः मध्यम कणी होता है। गठन समकणिक अंश फलकी होता है। फेल्सपार 1/3 भाग से कम एवं कभी–कभी सपाट होते हैं। गौण खनिजों में बायोटाइट हॉर्नब्लेंड, सोडाएम्फीबोल, डायोप्साइड, सोडियम पाइरॉक्सीन, ऑलीवीन प्रमुख है। अम्लीय मैग्मा के वितलीय अवस्था में शीतलन से इसकी उत्पत्ति हुई।

मुख्य रूप से अल्कली फेल्सपार की प्रचुरता के कारण इसे सायनाइट कहते हैं। इस प्रकार की शैल सर्वप्रथम मिस्र देश के सायन (syene) में पायी गई और इसलिए इस प्रकार की शैल का नाम सायनाइट पड़ा।

4. पेरिडोटाइट (Peridotite)

अत्यधिक ऑलिवीन के साथ प्रमुख रूप से पायरॉक्सीन होने पर इस प्रकार की शैल को पेरिडोटाइट कहते है। गहरे हरे, भूरे अथवा काले रंग के यह शैल सर्पेन्टाइन में बदल जाते है। मध्यम से स्थूल एवं समकणिक इस शैल में अपरूपक व संदलनी गठन मुख्य है। छदम पार्फिराइटी गठन विरल रूप से पाया जाता है। यह श्यामवर्णीय अतिमैफिक अत्यल्पसिलिक पूर्ण क्रिस्टलीय कणिका शैल है, जिसमें फेलस्पार और फेलसपेथाइड अनुपस्थित होते हैं। आलीवीन और पायराक्सीन इसके प्रमुख खनिज हैं। जिसमें आलीवीन की प्रधानता होती है। यह स्तरित अंतर्वेधी गैब्रो शैलों के तलीय संचयी स्थूल अंश, जो क्रमशः पायराक्सीनाइट, ट्रोक्टोलाइट अथवा गैब्रो में क्रमित होता जाता है, के रूप में मंडलाकार अतिमैफिक स्कंधी, ग्रेनाइटी जटिल संघी गौण अंतर्वेध तथा पर्वतन क्षेत्रों में वलित भू अभिनतीय अवसादों में वृहत चादरां और लेंसों के रूप में पाया जाता है। शैल में आलीवीन और पायराक्सीन प्रमुख खनिज हैं किन्तु मेग्नीशियम आलीवीन की

मात्रा अधिक होती है। पायराक्सीनों में एन्स्टेटाइट, ब्रान्जाइट, हायपरस्थीन, औजाइट, डायपसाइड या टिटन औजाइट उपस्थित हो सकते है। हार्नब्लेंड अन्य मेफिक खनिज है। गौण खनिजों में जिनकी संख्या काफी अधिक है, फ्लोगोपाइट माइका, क्रोमाइट, स्पाइनल, इल्मेनाइट, मेग्नेटाइट, गार्नेट, टाल्क, क्लोराइट, ट्रिमोलाइट, एक्टिनोलाइट आदि प्रमुख हैं। इस शैल का निर्माण अत्यल्प सिलिका या अल्ट्राबेसिक मैग्मा के वितलीय अवस्था में उच्च ताप पर शीतलन से हुआ। अनेक धातुओं (क्रोमियम, प्लेटिनम) एवं खनिजों की मातृ शैल है। किम्बरलाइट पेरिडोटाइट का एक विशिष्ट प्रकार है जिसमें हीरा मिलता है।

5. पेग्मेटाइट (Pegmatite)

पेग्मेटाइट का नाम वितलीय शैलों के समान संघटन वाले स्थूल एवं अति स्थूल क्रिस्टलीय शैलों के लिये प्रयुक्त किया जाता है। सामान्यतः श्वेतवर्णी होती है पर जिस खनिज की अधिकता होगी वही वर्ण होगा। अति स्थूल कणी इस शैल में 1 से.मी. से लेकर कभी–कभी कई मीटर तक लंबाई चौडाई के क्रिस्टल पाये जाते हैं। कणों के आकार परिवर्तनशील और असंगत होते हैं। बड़े और छोटे क्रिस्टल एक दूसरे के सानिध्य में पाये जा सकते हैं। क्वार्ट्ज और फेल्सपार की आलेखी (graphic) अंर्तवृद्धि सामान्य है। मस्कावाइट एवं बायोटाइट भी पाये जाते हैं। मुख्य आर्थिक खनिजों में टूरमैलिन, टोपाज, बेरिल, एपेटाइट, इमेरल्ड, गार्नेट, लेपिडोलाइट, रूटाइल, केसिटेराइट, लोराइट, यूरेनिनाइट कोलंबाइट एवं अनेक दुर्लभ मृदा खनिज प्रमुख है। इतने सारे खनिजों की उपस्थिति के कारण इसे खनिजों का संग्रहालय भी कहते हैं। इसकी उत्पत्ति वाष्पीय पदार्थों की उपस्थिति में अम्लीय मैग्मा के अवशिष्ट द्रव में मंद क्रिस्टलन से हुई है।

6. रायोलाइट (Rhyolite)

यह अदृश्य क्रिस्टल ज्वालामुखी शैल है जो पूर्ण क्रिस्टलीय, अंश क्रिस्टलीय या पूर्ण कांचीय होती है। अधिकांश रायोलाइट सफेद पीतांभ हल्के भूरे या गुलाबी रंग के होते हैं। किन्तु पीले और गहरे लाल बैंगनी रंग भी पाये जाते हैं। शैल का गठन सामान्यतः असमकणिक, पार्फिरिटिक होता है। स्फोटगर्ती संरचना भी उपस्थित रहती है। मुख्यतः इसके खनिज ग्रेनाइट के समान ही होते है। क्वार्ट्ज, सेनीडीन तथा ऑलीगोक्लेज आवश्यक खनिज है। इनके साथ बायोटाइट, हॉर्नब्लेंड और पाइरॉक्सीन प्रमुख गौण खनिज हैं। मैग्नेटाइट, ट्रिडीमाइट, क्रिस्टोबेलाइट, गार्नेट, एपिटाइट, स्फीन, जिरकन आदि खनिज अत्यल्प मात्रा में पाये जाते हैं।

इसकी उत्पत्ति ज्वालामुखी द्वारा अतिसिलिक या अम्लीय लावा के अत्यधिक गति से शीतलन होने के कारण हुई है। तीव्र प्रवाही संरचना के कारण इसका नाम रायोलाइट पडा।

अवसादी शैल विज्ञान
(Sedimentary Petrology)

वो शैलें जो पूर्व स्थित शैलों को अनाच्छादित (denudation) करने वाली शक्तियों (कारकों) यथा जल, वायु, आदि की रासायनिक या बलकृत (mechanical) अपरदन (erosion) एवं अपक्षय (weathering) क्रिया से बनती है और जल में निक्षेपित होती है। ऐसी शैलों को अवसादी शैलें कहते हैं। भू–पर्पटी में स्थित शैलों का दीर्घकालिक क्षय (decay) या अपघटन (decomposition) और विघटन (disintegration) के प्रक्रम चलते हैं जिसके कारण शैलों का खण्डन होता है। यह खंडित मलवा (debris) और विलीन पदार्थ अपनी उत्पत्ति की जगह से मुख्य रूप से नदियों द्वारा बहाकर ले जाये जाते हैं और समुद्र में निक्षेपित होते हैं। परिवहन से अप्रभावित खंडित पदार्थ अपने मूल स्थान पर जिस शैल से व्युत्पन्न (derived) हुए है उसी को आच्छादित किये रहते हैं। इन्हें अवशिष्ट निक्षेप (residual deposits) कहते हैं। बलकृत कारको द्वारा खंडज कण (clastic grains) एवं विलेय पदार्थ के रूप में परिवहित होकर अन्य स्थान पर निक्षेपित हो जाते हैं। इस प्रकार के अबद्ध निक्षेप (unconsolidated deposit) अवसाद कहलाते हैं। अवसादों की उत्पत्ति के सभी प्रक्रम (अपरदन, अपक्षय, परिवहन एवं निक्षेपण) कम तापमान और कम दाब की स्थिति में क्रियाशील होते है। शैलीभवन (Lithification) के परिणामस्वरूप अबद्ध अवसाद संहत (consolidate) अवसादी शैलों में परिवर्तित हो जाते हैं। शैलों के अपरदन एवं अपक्षय प्रक्रिया द्वारा निर्मित छोटे छोटे शैल एवं खनिज कणों को अवसाद (sediment) कहते हैं। अवसाद के बनने की इस विधि को अवसादीकरण (sedimentation) कहते हैं। अवसादी शैल मात्रा के आधार पर भूपर्पटी (lithosphere) का केवल 5 प्रतिशत भाग है, किन्तु भूपटल के अत्यधिक विस्तृत भाग को ढके हुए हैं।

अवसादी शैल अनेक प्रकार के होते हैं किन्तु इनमें से केवल तीन प्रकार के शैल ही प्रमुख हैं तथा अवसादी शैलों का 95 प्रतिशत से अधिक भाग इनके द्वारा ही निर्मित है। बलुआ पत्थर 8 से 16 प्रतिशत तक, पंकाशम (mudstone) 70 से 80 प्रतिशत तक एवं चूना पत्थर (limestone) 10 प्रतिशत से 15 प्रतिशत तक। बालू एक खंडन अवसाद है मुख्यतः क्वार्ट्ज जिसके कण 2 मि.मी. से 0.62 मि.मी. तक आकार के होते है। बालू से छोटे आकार के खंडज कणों से पंक बनती है। चूना पत्थर मुख्यतः $CaCO_3$ तथा $CaCO_3MgCO_3$ से बने होते हैं।

अवसादीकरण (शैलों के निर्माण की विधि)
(Sedimentation)

अपक्षय (Weathering)

अपक्षय उन सभी प्राकृतिक प्रक्रमों को समाहित करता है जिनके द्वारा भूपटल पर अनाच्छादित शैलों का अपघटन

(decomposition) और विघटन (disintegration) होता है। अपक्षय को भौतिक रासायनिक और जैवीय प्रक्रमों में वर्गीकृत किया गया है। भौतिक कारकों द्वारा शैलों का यांत्रिक विखंडन होता है जिसे भौतिक अपक्षय कहते है। रासायनिक अपक्षय प्रमुख रूप से शैल के घटकों का आंशिक अथवा पूर्ण विलयन कर उसे नष्ट करने की दिशा में कार्यशील होता है। जैव रासायनिक प्रक्रिया द्वारा ह्यूमिक अम्लों (humic acid) एवं जीवाणुओं (bacteria) द्वारा शैलों को अपघटित करने की क्रिया को जैविक अपक्षय कहते है।

रासायनिक अपक्षय (Chemical Weathering)

रासायनिक अपक्षय में विलयन आक्सीकरण (oxidation), अपचयन (reduction), जलयोजन (hydration), कार्बनीकरण (carbonation) जल अपघटन (hydrolysis) और कोलाइड (colloid) आदि प्रक्रम आते हैं। रासायनिक अपक्षय प्रायः जीव उत्तकों (tissues) की वृद्धि अथवा क्षय से उत्पन्न विभिन्न कार्बनिक अम्लों के द्वारा गतिशील होता है। कार्बनिक अम्लों में कुछ ऐसे गुण पाये जाते हैं जो अकार्बनिक अम्लों में नहीं होते। इस गुण के जिन द्रवों में ये अम्ल उपस्थित होते हैं उनमें खनिजों की विलेयता बढ़ जाती है। यह प्रक्रम धात्विक आयनों को आगे अभिक्रिया करने से रोकता है इस कारण से आयन विलयन के साथ परिवहित हो जाते हैं।

रासायनिक अपक्षय लगभग पूर्ण रूप से जल की उपस्थिति पर निर्भर है। प्रायः जल समस्त खनिजों पर कुछ न कुछ मात्रा में अभिक्रिया करता है विशेषकर तब जब यह CO_2, ऑक्सीजन और अन्य गैसों को अपने में विलीन कर लेता है। लौह युक्त खनिजों पर यह विशेष क्रियाशील होता है। जिससे लौह ऑक्साइड, हेमेटाइट, और लिमोनाइट बनते हैं। जो शैलों में मुख्य रंगोत्पादक पदार्थ होते हैं। इनसे ही लाल, भूरे एवं पीले रंग बनते हैं। जलयोजन एक ऐसा प्रक्रम है जिससे खनिजों के यौगिक जल समृद्ध पदार्थों में परिवर्तित हो जाते हैं। इस प्रकार मैग्नीशियमी खनिज खंडित होकर ऑलिवीन, सर्पेन्टीन और टाल्क में परिवर्तित हो जाते हैं। बायोटाइट और अन्य लौह मैग्नीशियम खनिज क्लोराइट में तथा फेल्सपार अपघटित होकर सजल एल्यूमिनियम सिलिकेट और मुक्त सिलिका का निर्माण करते हैं।

कार्बनीकरण में खनिज बदलकर कार्बोनेट बनाते हैं। अपघटन के प्रक्रम में वे खनिज सबसे ज्यादा प्रभावित होते हैं जिन खनिजों में क्षारीय धातु सोडियम, पौटेशियम तथा कैल्शियम और मैग्नीशियम उपस्थित होते हैं। इस तरह विभिन्न सल्फेटों एवं क्लोराइडो का भी निर्माण होता है। मुख्य शैलकर खनिजों के रासायनिक अपक्षय के उत्पाद तालिका 3.3 में दर्शाया गया है।

विलेय सिलिका प्रायः शीघ्र ही शिराओं तथा विदरों में और संयोजी (cementing) पदार्थ के रूप में शैलों में पुनः निक्षेपित हो जाती है। विलेय पदार्थ सामान्यतः नदियों से मिलकर अंत में समुद्र में पहुँच जाते हैं। इस प्रकार समुद्री जल में विलीन लवणों की मात्रा में वृद्धि होती जाती है।

भौतिक अपक्षय (Physical weathering)

रासायनिक अपक्षय की तुलना में भौतिक अपक्षय का प्रभाव कम होता है। भौतिक अपक्षय में तीन प्रक्रम तुषारी क्रिया (Frost wedging/Freeze thaw) आतपन/सूर्यताप (insolation) और जलयोजन (hydration) तथा निर्जलीकरण (dehydration) प्रमुख हैं। जब किसी शैल के कणों के बीच खाली स्थान अथवा दरारों में भरा जल रात्रि में जमकर बर्फ बन जाता है तब उसके आयतन में लगभग 9 प्रतिशत की वृद्धि होती है इस कारण वह अपने चारों ओर अत्यधिक दाब निर्मित करता है। दिन के समय बर्फ पुनः पिघल जाती है। यह प्रक्रम समय के साथ शैलों को विखंडित तथा कमजोर कर देती है। जिन शैलों में अधिक संधियाँ (joints) होती हैं वे इस क्रिया के द्वारा अधिक प्रभावित होती हैं।

आतपन की क्रिया उन उष्ण मरूस्थलीय क्षेत्रों में होती है जहाँ दिन और रात्रि के तापक्रम में बहुत अधिक अंतर होता है, अधिक प्रभावी होती है। तापक्रम के परिवर्तन से शैलों के प्रसार और संकुचन की क्रिया होती है। जब यह क्रिया बार–बार होती है तब शैलों में उत्पन्न विकृतियों के कारण ऊपरी सतह अपशल्कन (exfoliation) के कारण पपड़ी बनकर टूटने लगती है।

उन क्षेत्रों में जहाँ शुष्क और आर्द्र जलवायु एकांतर क्रम से पाई जाती है जलयोजन और निर्जलीकरण अधिक प्रभावशील होते हैं। मृतिका और अन्य शैलों (shales) के आयतन में वर्षा काल में जलयोजन से वृद्धि होती है तथा शुष्क मौसम में निर्जलीकरण के कारण आयतन कम हो जाता है जिसके कारण संकुचन विदर (shrinkage cracks) उत्पन्न होने से शैलों का विखंडन होने लगता है। इस तरह क्षय के उपरांत खण्डन एवं अपघटन से भू–पर्पटी पर निर्मित विभिन्न संघटनों से बने मोटे आवरण को आवरण प्रस्तर (regolith) कहते हैं। यह आवरण प्रस्तर विभिन्न कारकों द्वारा कई पड़ावों के साथ अपनी अंतिम पड़ाव के लिये समुद्र में जाकर निक्षेपित हो जाता है। कई वर्ष जब यह प्रक्रम चलता है और समुद्र में अवसादों (sediments) की मोटी तह जमकर शैल का रूप ले लेती है जिसे अवसादी शैल कहते हैं।

अपरदन (Erosion)

प्राकृतिक कारकों द्वारा पृथ्वी की सतह पर से शैलों के अपक्षय को वहाँ से हटाने की क्रिया को अपरदन कहते हैं। अपरदन क्रिया में गुरूत्वाकर्षण बल, हिमनद, नदियाँ एवं वायु सम्मिलित है। प्रवाही जल अपरदन का मुख्य कारक है। वह विभिन्न भू–आकृतिक परिस्थितियों में प्रभावी अपरदन करता है। अपरदन के साथ पदार्थों का स्थानच्युत होने का अर्थ परिवहन है।

तालिका 3.3 : शैलकर खनिजों के रासायनिक अपक्षय

खनिज	अवशिष्ट खनिज	घोल में विलेय
क्वार्ट्ज	क्वार्ट्ज	विलेय SiO_2
मस्कोवाइट	मृतिका (Clay)	Mg व K आयन तथा विलेय SiO_2
बायोटाइट	मृतिका, केओलीन, क्लोराइट	K, Mg व Fe आयन तथा विलेय SiO_2
पयराक्सीन व एम्फीबोल	मृतिका	Ca, Fe, Mg, Mn व Na के आयन तथा विलेय SiO_2
आलीवीन	मृतिका, लौह आक्साइड	Mg, व Fe आयन तथा विलेय SiO_2
पोटाश फेल्सपार	सेरीसाइट, मृतिका	K आयन तथा विलेय SiO_2
प्लेजिओक्लजे	मृतिका	Na व Ca के आयन तथा विलेय SiO_2
मेग्नेटाइट	हेमेटाइट, लिमेनाइट, गोथाइट	
केल्साइट	–	Ca तथा HCO_3 आयन
डोलोमाइट	–	Ca, Mg तथा HCO_3 आयन

परिवहन (Transportation)

यह सर्वमान्य है कि अपरदित पदार्थ विभिन्न माध्यमों द्वारा समुद्र की यात्रा प्रारंभ कर देता है तथा यह यात्रा एक या अधिक चरणों में पूर्ण होती है। परिवहन ठोस कणों अथवा विलयन के रूप में होता है। विलेय मात्र केवल जल के माध्यम में ही परिवहित हो सकते है। गुरूत्वीय प्रवाह (gravitational flow), हिमनद वायु और जल परिवहन के माध्यम हैं। प्रत्येक माध्यम के लिये यह निश्चित है कि किस प्रकार के अवसादों के परिवहन में उसे कितनी शक्ति लगेगी।

सभी प्रकार के यांत्रिक परिवहन (mechanical transportation) में गुरूत्वीय शक्ति परिवहन का कारक बन जाती है। विशेषकर अधोमुखी (downward) एवं कुछ सीमा तक क्षैतिज परिवहन के लिये विशिष्ट परिस्थितियाँ आवश्यक है। जैसे कगारों पर तीव्र ढालों पर भूस्खलन शैल पात (rock fall) और शैल हिमघाव (Avalanche) के तथा महाद्वीपीय ढालों पर टरबिडिरी धारा के रूप में परिवहन होता है। हिमनदों में परिवहन गुरूत्व प्ररित द्रव प्रवाह के कारण होता है हिमनदों की राह में आने वाला शैल मलवा उसमें फंस कर उसके किनारों और तली पर संकर्सित (dragged) रूप से परिवहित होता है। किसी भी तरल (fluid) माध्यम में कणों का परिवहन तीन गतियों द्वारा होता है तथा इसे तल भार (bed load) परिवहन की संज्ञा दी गई है।

(i) **लोटनी गति एवं घर्षण** (Rolling and fraction) गति में परिवहित भारी शैल खण्ड तली से कभी भी ऊपर नहीं उठ पाते तथा लगातार तली के संपर्क में रहते हैं।

(ii) **उत्परिवर्तन** (Saltation) गति में माध्यम के उसी वेग में अपेक्षाकृत छोटे कण बहाव की दिशा में छलांग लगाते हुए परिवहित होते हैं। परिवहन पथ पर ऊपर की ओर उछलकर आगे बढ़ते हुए तली से पुनः टकराते हैं। सामान्यतः मध्यम आकार और वजन वाले कण इसी गति से परिवहित होते है।

(iii) **निलंबित** (Suspension) गति में छोटे और कम भार वाले कण असमान प्रक्षेप पथ (trajectory) द्वारा प्रवाह तल में उत्परिवर्तन गति से ऊपर के भाग में परिवहित होते हैं।

(iv) **कोलाइडी** (Collide) बहुत अधिक छोटे आकार के कण कोलाइडी दशा में परिवहित होते हैं। इनमें मृतिका खनिज (clay minerals) जैवीय द्रव्य तथा लौह और एल्यूमिना के हाइड्राक्साइड प्रमुख हैं। यह शांत (calm) वातावरण में भी काफी लंबे समय के बाद धीरे–धीरे निक्षेपित होते हैं।

निक्षेपण (Deposition)

अवसादों का परिवहन वायु बर्फ या जल किसी भी माध्यम द्वारा हो उनका अंतिम ठिकाना वही होता है जहाँ परिवहन रूक जाता है और मुख्यतः वह समुद्र ही होता है। समुद्र में परिवहित पदार्थ उसकी तली में निक्षेपित हो जाते हैं। कणीय अवसाद परिवहन माध्यम के वेग कम होने पर निक्षेपित होते हैं। इसी प्रकार रासायनिक परिस्थितियों के अनुकूल परिवर्तन होने पर रासायनिक निक्षेपण होता है। रासायनिक निक्षेपण में जैव रासायनिक क्रिया भी काफी सहायक होती है। पदार्थों का निक्षेपण अधिगमन माध्यम में भार अधिक हो जाने पर, गति में विरोध होने से अथवा किसी रासायनिक या भौतिक परिवर्तन से होने लगता है। विलयन का अधिक वाष्पन होने पर वह विलीन पदार्थ में संतृप्त होकर निक्षेपित हो जाता है। विलीन पदार्थ युक्त एक जलधारा जब दूसरी जलधारा से मिलती है तो उसमें मौजूद विलेय पदार्थ अभिक्रिया कर निक्षेपित हो सकते हैं। ऐसा विश्वास भी है कि जीवाणुओं की क्रिया से झीलों में दलदल–लौह–अयस्क (Bog-

iron-ore) का निक्षेपण होता है। निक्षेपण के बाद दाब एवं तापमान की वजह से अवसादों की परतों में होनेवाले बदलाव को डाईजेनेसिस (Diagenesis) कहते हैं।

डायजेनेसिस की अवधारणा (Concept of diagenesis)

निक्षेपण के समय अवसाद अबद्ध रहते हैं। समय के साथ विभिन्न भौतिक और रासायनिक प्रक्रमों द्वारा वे संपिंडित (consolidated)/संहत (compact) शैलों में परिवर्तित हो जाते हैं। अवसादों के संपिंडित शैलों में परिवर्तन की क्रिया शैलीभवन (Lithification) कहलाती हैं। उदाहरण के लिये बालू डायजेनेसिस में अनेक भौतिक, रासायनिक और जैवीय प्रक्रम सम्मिलित रूप से क्रियाशील होते हैं। डायजेनेसिस की क्रिया में सामान्यतः निम्न 7 प्रक्रमों का समावेश होता है।

1. संहनन (Compaction)
2. विलयन (Solution)
3. पुनःक्रिस्टलन (Recrystallization)
4. सीमेन्टीभवन (Cementation)
5. तंत्र जनन (Authigenesis)
6. प्रतिस्थापन (Replacement)
7. जैव विक्षोभ (Bioturbation)

1. **संहनन**/(Compaction) : अवसाद के निरंतर निक्षेपण से अवसादी द्रोणियों में हजारों मीटर मोटे अवसाद जमा हो जाते है। इस तरह पहले जमा हुए संस्तरों पर बाद में निक्षेपित पदार्थो का भार क्रमशः बढ़ता जाता है। भार की इस वृद्धि के कारण अवसादी कणों में प्रगाढ़ संकुलन होता है। जिसके फलस्वरूप अवसाद की संरघ्रता (porosity) कम हो जाती है तथा कणों के बीच भरे हुऐ अंतरकाशी (interstitial) जल के बाहर निकल जाने से अवसाद का आंशिक निर्जलीकरण भी हो जाता है इस प्रक्रम को अवसाद का संहनन कहते हैं।

2. **विलयन** (Solution) : अवसादों में विलयन दो प्रकार के होते हैं–

(i) दाब विलयन (Pressure solution)

(ii) दाब, ताप, Eh और pH के परिवर्तन से

(i) **दाब विलयन** : ऊपरी भार और दाब के अत्यधिक बढ़ जाने पर संहनन अपनी चरम सीमा पर पहुँच जाता है। कण एक दूसरे के अत्यधिक करीब आ जाते हैं और संस्पर्श तलों पर आपस में एक दूसरे पर अत्यधिक दबाव डालते हैं इस कारण कमजोर कण मुड़ कर टूट जाते हैं। अन्य कणों में संस्पर्श स्थानों पर दाब के कारण कणों में विद्यमान विलयन वहाँ से अन्यत्र जाने को प्रारंभ हो जाता है। दाब के कारण इस प्रकार की विलयन क्रिया दाब विलयन कहलाती हैं यह विलयन पास के कणों में स्थानांतरित होकर उनके बीच स्थित कम दाब वाले रंध्राकाशों (pore spaces) में अवक्षेपित हो जाते हैं। ये अवक्षेपित पदार्थ अबद्ध अवसाद कणों को जोड़ने का काम करते हैं।

(ii) **दाब के साथ ताप**, Eh **और** pH **के परिवर्तन** : इससे भी अवसाद कणों में उपस्थित खनिजों के विलयन पर उपरोक्त कारकों का भी प्रभाव होता है जब परिसंचारी द्रव (Circulating fluids) अवसादों से होकर प्रवाहित होते हैं तब वे घटक जो विद्यमान परिस्थितियों मे स्थायी नहीं होते उन द्रवों में विलय हो जाते हैं तथा इस विलयन में विद्यमान खनिजों का भी उपयुक्त स्थितियों की उपस्थित होने पर पुनः अवक्षेपण हो जाता है। इन कारणों से अवसादी शैलों की संरध्रता कम होती है तथा अवक्षेपित खनिज, कणों के बीच संयोजक पदार्थ का काम करते हैं।

अधिकांश कार्बोनेटी शैलों और कई बार बलुआ पत्थरों में दाब विलयन के फलस्वरूप शैल का अधिकांश भाग उससे बाहर चला जाता है तथा उसमें अनियमित दंतुर तलवाली स्टायलोलाइट संरचना निर्मित हो जाती है। ये तल कणों और सीमेंट को प्रतिच्छेदित करते हैं। इन तलों पर अविलेय पदार्थ (सामान्यतः मृतिका) की अति महीन परत बन जाती है।

3. **पुनः क्रिस्टलन** (Recrystallisation) : इस प्रक्रम में खनिजकणों के क्रिस्टलीय जालक (crystal lattice) के पुनः अभिविन्यास (reorientation) के कारण एवं सहचारी (associated) गठनीय परिवर्तन के कारण शैलीभवन होता है। पुनः क्रिस्टलन की क्रिया दाब, ताप और द्रव प्रावस्था के परिवर्तन के कारण होती हैं। यह क्रिया शैलों में उपस्थित खनिजों के आंशिक रूप से विलयन और पुनः क्रिस्टलन के कारण संपन्न होती है।

4. **सीमेंटीभवन** (Cementation) : सीमेंटीभवन अवसाद के दृढ़ीकरण (induration) या शैलीभवन का प्रमुख प्रक्रम है। इस प्रक्रम में अवद्ध अवसाद कण संयोजक पदार्थों द्वारा आपस में बंध जाते हैं। यह संयोजक पदार्थ छोटे अवसाद एवं मृणमय अवसाद हो सकते हैं। संयोजक पदार्थ दो प्रकार के होते है, पहले वर्ग में अवसादों में निक्षेपित अपेक्षाकृत छोटे प्रकार के अवसादी कण होते हैं जो बड़े कणों के बीच खाली स्थान में जमा हो जाते हैं। इन संयोजक पदार्थों को अघात्री या मेट्रिक्स कहते हैं। अति महीन खनिज कण और मृण्मय अवसाद इसके मुख्य घटक है। इनके साथ ही अनेक खनिजों के परिवर्तन/प्रतिस्थापन द्वारा उपर्युक्त परिस्थितियों में भी मृतिका के खनिज निर्मित होते हैं जो बालू कणों को जोड़ते है।

इनके अलावा रासायनिक उत्पत्ति के संयोजक पदार्थ होते हैं जिन्हें सीमेन्ट भी कहते है। इस वर्ग में सिलिका और कार्बोनेट खनिज मुख्य है। इनकी उत्पत्ति भी दाब विलयन एवं प्रतिस्थापन, तंत्र जनन आदि प्रक्रमों द्वारा होती है। किसी भी शैल में एक या एक से अधिक संयोजक पदार्थ पाये जा सकते हैं।

5. **तंत्र जनन** (authigenesis) : तंत्र जनन प्रक्रम में डाइजेनेसिस के समय नये खनिजों का क्रिस्टलन होता है। ये नये खनिज या तो अवसाद में उपस्थित घटकों के आपस में अभिक्रिया करने से अथवा बाहर से आये द्रवों द्वारा लाये गये घटकों के अवक्षेपण अथवा अवसाद के घटकों और बाहर से लाये गये घटकों की आपस में अभिक्रिया के कारण निर्मित होते हैं। पुनः क्रिस्टलन में सामान्यतः में प्रतिस्थापन और पुनः क्रिस्टलन प्रभावी होता है। तंत्रजात खनिजों में क्वार्टज, फेल्सपार, मृतिका व कार्बोनेट खनिज सर्वाधिक सामान्य है। किंतु अन्य खनिजों की उपस्थिति भी पाई जाती है।

6. **प्रतिस्थापन** (Replacement) : प्रतिस्थापन प्रक्रम द्वारा अवसाद में उपस्थित खनिज स्वस्थाने नये खनिज द्वारा प्रस्थापित हो जाते हैं। प्रतिस्थापित खनिज या तो उपस्थित खनिज का पुनःक्रिस्टलन, बहुरूप (polymorph) अथवा उसका कूटरूप (pseudomorph) अथवा मित्र क्रिस्टल संरचना वाला नया खनिज हो सकता है। प्रतिस्थापन द्वारा निर्मित खनिजों में क्वार्ट्ज, डोलोमाइट, इलाइट, मृतिका प्रमुख हैं।

7. **जैव विक्षोभ** (Bioturbation) : यह जैविक सक्रियता का वह प्रक्रम है जिसमें अवसाद की सतह पर उसके पास कुछ गहराई तक जैविक क्रियायें यथा बेधन (boring), बिल निर्माणी (burrowing), रेंगना (crawling) आदि के कारण अवसादों का संमिश्रण हो जाता है उनके संहनन में भी वृद्धि हो जाती है। इस क्रिया में जीव इस प्रकार के पदार्थ श्रवित करते हैं जो कणों के बीच सीमेंट का कार्य करते हैं।

डायजेनेसिस के उपरोक्त प्रक्रम के घटित होने के समय के संदर्भ में कोई निश्चित क्रम निर्धारित नहीं किया जा सकता है। सभी क्रियायें किसी भी समय एकल अथवा सम्मिलित रूप से क्रियाशील रह सकती है।

अवसादी शैलों का खनिज संघटन

(Mineralogical composition of Sedimentary rocks)

अवसादी शैलों के ज्यादातर खनिज पूर्व स्थित शैलों से ही प्राप्त होते हैं। पर उनमें दो वर्ग हो सकते हैं। एक वो जो शैल अपघटन से प्राप्त अविलेय अवशेष एवं दूसरे अपेक्षाकृत स्थायी खनिज जो पूर्व स्थित शैलों से प्राप्त हो।

प्रथम वर्ग में यह खनिज समूह हैं :

(क) मृतिका खनिज, तथा केओलिनाइट और हैलोइजाइट

(ख) अभ्रक एवं क्लोराइट

(ग) एल्यूमिनियम हाइड्रॉक्साइड, बॉक्साइट आदि

(घ) फेरिक ऑक्साइड एवं हाइड्रॉक्साइड

द्वितीय वर्ग में अनेक खनिज आते हैं जिसमें क्वार्ट्ज सबसे ज्यादा मिलता है। जिसके उपरान्त फेल्सपार पाया जाता है। कुछ गौण खनिज यथा जरकॉन, रूटाइल, टूरमैलीन, गार्नेट, कायनाइट, मैग्नेटाइट इत्यादि अधिकतर अवसादों में उपस्थित होते हैं।

इनके अलावा वे घटक जिनकी उत्पत्ति अन्य किसी भी समय पर हुई और बाहर से अवसाद में लाये गये हों, उन्हें अन्यत्रजात (Allogenous) कहते हैं उदाहरण गुटिका एवं खनिज कण। दूसरे वे घटक जो अवसाद के अन्दर अनुवर्ती परिवर्तनों द्वारा नये सिरे से उत्पन्न हो उन्हें तत्रजात (Authigenous = स्थानीय रचित) कहते हैं।

अवसादी शैलों का वर्गीकरण

(Classification of Sedimentary Rocks)

अवसादी शैलों के सुव्यवस्थित अध्ययन के लिए उनका वर्गीकृत करना आवश्यक है। अवसादी शैलों के गुण वर्गीकरण का आधार बनते हैं, जैसे गठन, रासायनिक एवं खनिज संघटन आदि। उपरोक्त गुणों के आधार पर अवसादी शैलों को मुख्य रूप से दो वर्गों में बांटा गया है – यथा खण्डज एवं अखण्डज अवसादी शैलें।

1. **खण्डज अवसादी शैलें** (Clastic Sedimentary Rocks)

यह वर्गीकरण खण्डजों के आकार के आधार पर किया गया है।

i. **गुटिकामय** (Rudaceous) : जो कि मुख्यतः गोलाश्म, गोलाश्मिका एवं गुटिका से बनी शैलें होती हैं। उदाहरण संगुटिकाश्म एवं संकोणाश्म शैलें।

ii. **बालुकामय** (Arenaceous) : मुख्यतः विभिन्न प्रकार की बालुश्रेणी के कणों के सम्पीडन से बनी शैलें हैं। जैसे बालू से बालुकाश्म का निर्माण होता है।

iii. **मृण्मय** (Argillaceous) : गाद एवं मृतिका श्रेणी के कणों से बनी हुई शैलें। जैसे गाद के सम्पीडन से गाद प्रस्तर एवं मृतिका के सम्पीडन से शेल (Shale) बनती है।

2. **अखण्डज अवसादी शैलें**

(Non-Clastic Sedimentary Rocks)

इस समूह की अवसादी शैलों का वर्गीकरण मुख्य रूप से खनिज एवं रासायनिक संघटन पर आधारित है।

i. **चूनामय** (Calcareous) : कैल्शियम एवं मैग्निशियम के कार्बोनेट से बनी शैलें जैसे चूनाश्म।

ii. **कार्बनमय** (Carbonaceous) : कार्बनमय पदार्थों से बनी शैलें जैसे लिग्नाइट।

iii. **लोहमय** (Ferruginous) : लोह या मैंगनीज ऑक्साइड से बनी शैलें, जैसे लोहप्रस्तर।

iv. **सिलिकामय** (Siliceous) : सिलिका के विभिन्न रूपों से बनी शैलें, जैसे – चर्ट।

v. **एल्युमिनामय** (Aluminous) : एल्युमिनियम ऑक्साइड से बनी शैलें, जैसे लैटराइट।

vi. **फॉस्फेटमय** (Phosphatic) : फॉस्फोरस युक्त बनी शैलें, जैसे – फॉस्फोराइट।

कुछ अवसादी शैलें

संगुटिकाश्म (Conglomerate)

गोल कणों वाले असंपीडित गुटिकामय निक्षेप जिन्हें बजरी या शिंगिल (gravel) कहते हैं, के संपिडन से संगुटिकाश्म का निर्माण होता है। संगुटिकाश्म के खंडों के आकार, गठन (कण आधारी या आधात्री आधारी) तथा खनिजात्मक एवं रासायनिक संघटन में अत्यधिक विविधता पाई जाती है। इसमें अत्यधिक स्थूल कण, कणों की छँटाई अच्छी नहीं होती, कणों की गोलाईता तथा गोलाभता मध्यम होती है। इसी प्रकार इनका संयोजन पदार्थ स्थलजात अपेक्षाकृत महीनकणी अथवा रासायनिक उत्पत्ति का हो सकता है। कण प्रायः क्वार्ट्ज, क्वॉट्जाइट, चर्ट आदि के तथा संयोजन पदार्थ सिलिका होता है। इसके कणों का व्यास 2 मिलीमीटर से अधिक होता है। इसके कणों में गोलाई अधिक होती है।

संगुटिकाश्म मुख्यतः दो प्रकार के होते हैं।

(अ) आलिगोमिक्टिक (Oligomictic) एक ही प्रकर की शैल गुटिकाओं से निर्मित।

(ब) पॉलिमिक्टिक (Polymictic) विभिन्न प्रकार की गुटिकाएँ।

संकोणाश्म (Breccia)

संकोणाश्म कोणीय या उपकोणीय गुटिकामय शैल खंडों का संपिडित समुच्चय है। संकोणाश्म के कोणीय खंडों के आकार तथा खनिजात्मक संघटन में विविधता नहीं पाई जाती है। मुख्य रूप से इसकी उत्पत्ति अवसादी होती है। अवसादी संकोणाश्म कोणीय शैल खण्डों युक्त शैल मलबे (rock debris) के उसी जगह पर संपीडन (compression) और अश्मीभवन से निर्मित होते हैं। ज्वालाश्मचय संकोणाश्मक ज्वालामुखी से प्रक्षिप्त आधार शैल खण्डों तथा प्रक्षिप्त पदार्थों के निक्षेपण और संपीडन से होता है। भ्रंश तलों पर और विवर्तनिक गतिविधियों के कारण उत्पन्न संकोणाश्म को विवर्तनिक संकोणाश्म कहते हैं। संकोणाश्म के कण के टुकड़े अधिक कोणीय होते हैं जबकि संगुटिकाश्म अधिक गोलाभता दर्शाते हैं।

बालुकाश्म (Sandstone)

बालुकाश्म बालुकामय समूह की अवसादी शैल है जिसमें बालू श्रेणी के खण्डज होते हैं। इसका रंग भूरा, सफेद, हल्का पीला, लाल आदि होते हैं।

खनिज संघटन : क्वाट्र्ज इसका मुख्य खनिज घटक होता है। क्वाट्र्ज कण सिलिकामय, मृदामय, लौहमय या कैल्शियम युक्त सीमेंट से आबद्ध रहते हैं। कुछ बालुकाश्मों में ऊपरीशाही पदार्थों के दबाव के कारण वेल्डिंग होने से भी आबद्ध रहते हैं।

गठन : मध्यम से सूक्ष्म कणों से बनी शैल होती है। खनिज कणों का आकार 2 से 1/16 मिमी के बीच होता है। कणों का आकार कोणीय या गोलाकार हो सकता है।

संरचना : इसमें स्तरण, वेगप्रवाही संस्तरण एवं तंरग चिह्न आदि संरचनाएं विद्यमान होती हैं।

इसका उपयोग मकान बनाने में लिया जाता है। जोधपुर आगरा एवं दिल्ली के किले इसी शैल से बने हैं।

चूनाश्म (Limestone)

यह अखण्डज अवसादी शैल है। कैल्शियम कार्बोनेट के अवक्षेपण से होने वाले निक्षेपण द्वारा चुनाश्म बनता है। कैल्शियम कार्बोनेट का अवक्षेपण भौतिक – रासायनिक में परिस्थितियों में परिवर्तन से या जैव कारकों के कारण भी हो सकता है प्रायः इसमें जीवाश्म भी मिलते हैं।

खनिज संघटन : मुख्यतः कैल्साइट से बनी होती है। कुछ मात्रा में डोलोमाइट भी पाया जाता है। चर्ट, गाद एवं मृण्मय भी अशुद्धि के तौर पर पाई जाती हैं। इसके अलावा क्वॉर्ट्ज फेल्सपार एवं लौह ऑक्साइड का मिलना भी सामान्य गुण है।

गठन : चूनाश्म अखंडज शैल होती है। यह ठोस एवं स्थूल होती है। कुछ चूनाश्मों में अण्डाभ संरचना पाई जाती है। सामान्य तौर पर जीवाश्मों की उत्पत्ति के कारण जैविक संरचनाएं भी पायी जाती हैं।

इसका उपयोग सीमेन्ट बनाने में, इमारती पत्थर के रूप में एवं रासायनिक उद्योगों में किया जाता है।

शैल (Shale)

शैल विभिन्न वर्णों में पायी जाती है जिनमें सामान्यतः विदल्यता (Fissility) उपस्थित होती है। शैलों में मुँह से भाप

देकर सूँघने पर मिट्टी सी गंध आती है। शैल के कणों का औसत आकार 0.01 मिलिमीटर से छोटा होता है। जब ये कण सुप्रस्तरित और सुगमता से संस्तरण तलों के अनुप्रस्थ विपाटित हो तो उसे शैल कहते हैं। शैलों में खनिज अत्यधिक सूक्ष्म कण के होने से उनके स्थूलदर्शीय अध्ययन में खनिजों की पहचान कठिन होती है। शैलें अनेक वर्णों में मिलती हैं जिनसे उनकी उत्पत्ति के विषय में बहुत कुछ जान सकते हैं। जैसे लाल वर्ण हेमेटाइट के कारण होता है जो ऑक्सीकरण वातावरण (Oxidation Environment) को दर्शाता है। काला या धूसर वर्ण अपचयन वातावरण (Reduction Environment) को दर्शाता है और हरा वर्ण ठंडी जलवायु का द्योतक है।

कायांतरित शैल विज्ञान
(Metamorphic Petrology)

किसी ठोस शैल में दाब, ताप और रासायनिक वातावरण में प्रमुख परिवर्तनों के प्रभाव के कारण नवीन संतुलन स्थापित होते हैं जिसके फलस्वरूप उन शैलों में खनिजात्मक एवं संरचनात्मक परिवर्तन होते हैं जिसे कायांतरण कहते हैं। कायांतरित शैलों का निर्माण विभिन्न प्रकार के खनिजों से युक्त आग्नेय या अवसादी शैलों के कायान्तरण से हुआ है यही नहीं कायांतरित शैल का भी दुबारा कायांतरण हो सकता है। कायांतरण में एक ही मूल शैल से कायांतरण की भिन्न भिन्न परिस्थितियाँ बनने पर अलग–अलग प्रकार की कायांतरित शैलें बन सकती है। कभी कभी इनमें पुनः क्रिस्टलन अपूर्ण रहने से इनमें कायान्तरण पूर्व के खनिज, गठन और संरचनाओं के मूलावशे भी उपस्थित रहते हैं।

कायांतरण के कारक एवं प्रकार
(Agents and Kinds of Metamorphism)

आग्नेय शैलों के निर्माणकारी घटक सामान्यतः अपने निर्माण के समय की परिस्थितियों में भौतिक और रासायनिक रूप से संतुलन की स्थित में होते हैं। किंतु निर्माण के पश्चात भूविवर्तनिक (Geotectonic) हलचलों के कारण के शैल जब अपने निर्माण के समय से भिन्न भौतिक और रासायनिक वातावरण में स्थापित हो जाते हैं तब उनके स्थायी घटकों का पुनक्रिस्टलन होने लगता है तथा अन्य घटक इन नई परिस्थितियों में स्थायी घटकों में परिवर्तित होने लगते हैं। सामान्यतः इस प्रकार से निर्मित शैलों में नवीन वातावरण के अनुकूल संरचनायें और गठन निर्मित हो जाता है। परिवर्तित खनिज संघटन और संरचना एवं गठन वाले इन शैलों को कायांतरित शैल कहते हैं।

कायांतरण की क्रिया भूपर्पटी (crust) के आंतरिक भाग में डायजेनेसिस कटिबंध के नीचे तथा पुनर्भवन (palingenesis) के ऊपर के भाग में क्रियाशील होती है। कायांतरण में दो प्रकार के प्रेरक कारकों को कायांतरण के लिये उत्तरदायी माना गया है।

(1) तापमान एवं दाब के रूप में भौतिक कारक और

(2) रासायनिक सक्रिय द्रवों के रूप में रासायनिक कारक इन कारकों की आपेक्षिक (relative) सक्रियता के आधार पर कायांतरण को दो वर्गों में वर्गीकृत किया गया है।

(a) **सम रासायनिक कायांतरण** (Isochemical metamorphism) : इस कायांतरण में मूल शैल के स्थूल (Bulk) रासायनिक संघटन में कोई विशेष परिवर्तन नहीं होता। इसमें केवल घटकों का आपस में पुनः समंजन (readjusment) होता है। सामान्य अर्थ में इसे ही कायांतरण माना जाता है।

(b) **अपर रासायनिक कायांतरण** (Allochemical metamorphism) : जिसमें कायांतरण के समय शैल बाह्य स्त्रोतों से आये रासायनिक घटकों से समृद्ध हो जाती हैं । जिनके कारण मूल शैल के रासायनिक संघटन में उल्लेखनीय परिवर्तन हो जाता है। इस प्रकार के परिवर्तन को तत्वांतरण (metasomatism) कहते हैं।

कायांतरण का क्षेत्र डायजेनेसिक के बाद प्रारंभ होकर पर्याप्त मात्रा में पेलिन्जेनेसिस (पुनःर्भवन) तक है किन्तु किस बिन्दु पर कायांतरण प्रारंभ अथवा अंत होता है इसका निर्णय करना अत्यधिक कठिन है। मस्कोवाइट, पेरागोनाइट (Paragonite), प्रेहनाइट (Prehnite), एल्बाइट (albite) आदि खनिजों का निर्माण कायांतरण प्रारंभ होने का सूचक है। कायांतरण में खनिज किसी निश्चित तापमान पर नहीं बनते बल्कि प्रत्येक खनिज के निर्माण में परिस्थितियों के आधार पर तापमान में कुछ अंतर पाया जाता है। सामान्यतः कायांतरण की प्रारंभिक अवस्था में तापमान 150°C या उससे कुछ अधिक और दिष्ट दाब लगभग 500 बार होता है। शैल जब पर्याप्त मात्रा में पिघल कर द्रव अवस्था में परणित हो जाता है तब वह कायांतरण की अंतिम सीमा होती है। सामान्यतः यह 700°C से 900°C तक होता है। आग्नेय और कायांतरित गठनों का समिश्रण दर्शाने वाले मिग्मेटाइट शैलों की उत्पत्ति को कायांतरण की अंतिम सीमा माना जाता है।

कायांतरण के कारक
(Agents of metamorphism)

ताप, दाब और क्रियाशील रासायनिक तरल पदार्थ कायांतरण के प्रमुख कारक है। ये सभी कारक स्वतंत्र रूप से अलग अलग अथवा सम्मिलित रूप से कायांतरण में प्रभावशील हो सकते हैं। इन कारकों का विभिन्न अनुपातों में संयोग होने पर भिन्न भिन्न प्रकार के कायांतरण होते हैं।

(क) **ताप** (Temperature) : ताप कायांतरण का अत्यंत महत्वपूर्ण कारक है। कायांतरण के लिए ताप निम्न स्त्रोतों से प्राप्त होता है।

(i) **भूतापीय प्रवणता** (Geothermal gradient) : पृथ्वी में गहराई के साथ तापमान वृद्धि की दर भूतापीय प्रवणता कहलाती है। यह सर्वविदित है कि भूपर्पटी में गहराई के साथ तापमान बढ़ता है। यह वृद्धि सामान्यतः 30°C/किमी होती है। वृद्धि की दर भूपर्पटी के ऊपरी भाग में निचले भाग की तुलना में अपेक्षाकृत तीव्र होती है।

(ii) **मैग्मीय ताप** (Magmatic heat) : आग्नेय अंतर्वेधों और उसे घेरने वाली क्षेत्रीय शैलों के तापमान में स्पष्ट अंतर होता है। ग्रेनाइट के संस्पर्श तल के पास तापमान 500°C से 800°C तक और गैब्रो के संस्पर्श तल पर यह 700°C से 1000°C तक होता है। आग्नेय राशि और क्षेत्रीय शैलों के तापमान में इस अंतर के कारण अंतर्वेध से क्षेत्रीय शैलों में ताप विसरित होने के कारण क्षेत्रीय शैलों का तापमान बढ़ जाता है जो कि कायांतरण में सहायक होता है।

(iii) **घर्षणी ताप** (Frictional heat) : शैलों के विरूपण के समय घर्षण (बलकृत कार्य) के कारण घर्षणी उष्मा उत्पन्न होती है। यद्यपि इससे शैलों के तापमान में होने वाली वृद्धि नगण्य होती है किंतु कुछ प्रकरणों में यह 75°C से 80°C तक हो सकता है।

(iv) **रेडियोएक्टिवता** (Radioactivity) : रेडियाएक्टिव तत्वों के विखंडन से ताप उत्पन्न होता है। भूपर्पटी के ऊपरी भाग सिआल (Sial) में निचले भाग सीमा (Sima) की तुलना में रेडियो एक्टिव तत्वों की मात्रा अधिक होती है।

तापमान परिवर्तन के प्रभाव
(Effect of change of temperature)

तापमान की वृद्धि से होने वाले सामान्य परिवर्तन इस प्रकार हैं।

1. आयतन में वृद्धि के कारण अपेक्षाकृत कम घनत्व के खनिज निर्मित होते हैं।
2. रासायनिक अभिक्रियायें तेज होती हैं।
3. खनिजों का पुनक्रिस्टलन होता है।
4. ताप वृद्धि के कारण खनिजों/शैल में उपस्थित जल और तापशील घटकों के निष्क्रमण होने से निर्जल खनिजों की रचना होती है। किसी भी कायांतरण अभिक्रिया के लिये आवश्यक तापमान दिष्ट दाब बढ़ने पर अधिक होता जाता है किन्तु उसी अभिक्रिया में जल वाष्प के दाब की वृद्धि होने पर अभिक्रिया अपेक्षाकृत कम तापमान पर प्रारंभ हो जाती है।

(ख) **दाब** (Pressure) : सामान्यतः शैलों में प्राकृतिक दाब को द्रव स्थैतिक दाब (hydrostatic pressure) या एक समान दाब (uniform) और दिष्ट दाब (directed pressure) या प्रतिबल (stress) में नियोजित किया जा सकता है।

(A) **दिष्ट दाब अथवा प्रतिबल** (Directional pressure of stress) : यह एक निश्चित दिशा में क्रियाशील होता है। भूपर्पटी के ऊपरी और मध्य मंडलों में प्रतिबल अधिक प्रभावी होता है। इसकी उत्पत्ति शैलों के गहराई में दफन होने के फलस्वरूप ऊपरिशायी शैलों के अधोमुखी (downward) भार तथा परिवर्तन क्रिया के समय संचलन से होती है। सामान्यतः गहराई के साथ ऊपरिशायी शैलों के आपेक्षिक घनत्व के आधार पर 200–300 बार/कि.मी. की दर से दिष्ट दाब में वृद्धि होती है।

प्रतिबल उपरिशायी शैलों के आपेक्षिक घनत्व पर निर्भर होता है। शैल रंध्रों और विदरों में विद्यमान तरल पदार्थों पर भी यह दाब उसी प्रकार क्रियाशील होता है जिस प्रकार ठोस शैलों पर। इस कारण गहराई की एक निश्चित सीमा पर दिष्टदाब/प्रतिबल और द्रव स्थैतिक दाब बराबर हो जाते है। प्रतिबल के प्रभाव निम्नानुसार होते है।

(i) प्रतिबल के कारण पदार्थ के पृष्ठ तल में वृद्धि होती है इस कारण अभिक्रियाओं की गति तीव्र होती है।

(ii) पदार्थों का संदलन (crushing) विभंजन (Fracturing) तथा अपरूपण (shearing) होता है।

(iii) खनिजों की आकृति और विन्यास में परिवर्तन होता है। इसके कारण शल्की (foliate), पत्रित (Flaky) अथवा शलाका (rod shaped) आकार के खनिजों की रचना सरलता से होती है।

(B) **एकसमान दाब/द्रव स्थैतिक दाब** (uniform pressure/hydrostatic pressure) : शैल रंध्रों और विदरों में उपस्थित तरल पदार्थों में से जल सबसे प्रमुख होता है। इन तरल पदार्थों पर भी दिष्ट दाब उसी प्रकार क्रियाशील होता है जैसे ठोस शैलों पर। गहराई बढ़ने और अधिक ताप के कारण खनिजों के प्रगामी निर्जलीकरण से उनमें से तरल पदार्थ निर्मुक्त (released) होकर द्रवों की मात्रा में वृद्धि करते हैं।

द्रव स्थैतिक दाब कायांतरण के समय रासायनिक अभिक्रियाओं के नियंत्रण में महत्वपूण होता है तथा इसके प्रभाव के कारण समविमिय (equidimensional) खनिज क्रिस्टलों की उत्पत्ति होती है।

(ग) **रासायनिक क्रियाशील तरल पदार्थ** (Chemically active fluids) : शैलों के रंध्रों और विदरों में उपस्थित वाष्पशील एवं रासायनिक क्रियाशील पदार्थों की उपस्थिति अत्यधिक महत्वपूर्ण है। इन तरल पदार्थों में जल और कार्बनडाइऑक्साइड प्रमुख और महत्वपूर्ण घटक हैं। खनिजों के पुनक्रिस्टलन के समय विसरित तरल पदार्थ इसे ओर समृद्ध करते हैं।

तरल पदार्थों की उपस्थिति में उनमें खनिजों के घटकों के आंशिक अथवा पूर्ण विलयन से तरल पदार्थों की उपस्थिति के कारण उत्पन्न शैल आर्द्रता सार्वत्रिक (universal) एवं अत्यंत तनु

(dilute) सूक्ष्म (fine) किन्तु अत्यधिक क्रियाशील माध्यम हो जाता है। जिसके कारण रासायनिक अभिक्रियायें तीव्र होती है तथा अनुकूल ताप और दाब के वातावरण में खनिजीय रूपांतरण अपेक्षाकृत अधिक सरलता से संपन्न हो सकते हैं। रासायनिक क्रियायें आग्नेय अंतर्वेधों के समीप एवं अपेक्षाकृत अधिक गहराई पर ज्यादा शक्तिशाली होती है।

कायांतरण के प्रकार (Kinds of metamorphism)

कायांतरण को सामान्यतः कई प्रकार से वर्गीकृत किया जा सकता है। इनका वर्गीकरण कायांतरण के कारकों, भूवैज्ञानिक एवं भौगोलिक उपस्थित क्षेत्रों के आधार पर किये गये हैं। कायांतरण से प्रभावित भौगोलिक क्षेत्र के आधार पर इसे स्थानिक (Local) और प्रादेशिक (Regional) वर्गों में विभाजित किया गया है। स्थानिक कायांतरण अपेक्षाकृत छोटे क्षेत्र में सीमित रहता है तथा इससे प्रभावित शैलों की मात्रा भी सीमित होती है। तापीय, अपदलनी और उष्णजलीय कायांतरण इसी वर्ग में आते हैं। प्रादेशिक कायांतरण अत्यधिक विस्तृत क्षेत्र में प्रादेशिक स्तर पर पाया जाता है और इसका मैग्मा के उदभेदन (eruption) से सीधा आनुवंशिक संबंध नहीं पाया जाता। उष्मागतिक (dynamothermal) और अंतर्हिती (Burial) कायांतरण इस वर्ग में आते हैं।

कायांतरण का दूसरा वर्गीकरण उसे संपन्न कराने वाले कारकों के अलग–अलग अथवा सम्मिलित प्रभाव पर आधारित है। इस वर्गीकरण में कायांतरण के निम्न प्रकार माने गये हैं।

(क) **दाब प्रमुखी कायांतरण** (Pressure predominant metamorphism) : प्रमुख दाब प्रमुखी कायांतरण निम्नलिखित है–

1. **अपदलनी कायांतरण** (Cataclastic metamorphism) : इस कायांतरण में दिष्ट दाब अथवा अपरूपण प्रतिबल (shearing stress) प्रमुख कारक है। यह भूपर्पटी के ऊपरी भाग में क्रियाशील रहता है। इसमें खनिज विरूपण, विभंजन, संदलन और प्लास्टिक प्रवाह विरूपित हो जाते हैं। यह प्रायः कायांतरित क्षेत्रों में उपस्थित भ्रंशों से प्रभावित क्षेत्रों में पाया जाता हैं। इसमें माइलोनाइट, संदलन संकोणाश्म, रेखित शैल और चाक्षुस नाइस (augen gneiss) निर्मित होती है।

2. **अंतर्हिती कायांतरण** (Burial metamorphism) : अभिसारी (Convergent) प्लेट के किनारें पर निर्मित कुछ भू–अभिनतियों में अवसाद और उनके साथ अंतरास्तरित (interstratified) ज्वालामुखी शैल अत्यधिक गहराई पर अंतर्हित/दफन (Buried) हो जाते हैं। इन क्षेत्रों में तापमान कई सौ अंश हो सकता है किंतु अत्यधिक उच्च जल दाब (PH_2O) के कारण शैलों के मूल गठन लगभग अवशिष्ट रह जाते हैं केवल शैल के खनिजों में संगठनात्मक परिवर्तन होते हैं।

3. **प्रधात कायांतरण** (Shock metamorphism) : यह कायांतरण अत्यधिक तीव्र गति से प्रघात लगने के कारण खनिजों में विकृति (strain) उत्पन्न होने से होता है। सामान्यतः यह भूपटल पर उल्कापिंडों (meteorites) की सीधी टक्कर का परिणाम है। उल्कापिंड की गतिक उर्जा टक्कर के कारण प्रधात तरंगों में परिवर्तित कर टकराव के स्थान से चारों ओर गमन करती है। प्रधात तरंगे प्रभावित क्षेत्र में अत्यधिक कम समय में अति उच्च तापमान और दाब उत्पन्न करती है। जिसके फलस्वरूप उनसे प्रभावित क्षेत्र के शैल कायांतरित हो जाते हैं।

(ख) **ताप प्रमुखी कायांतरण** (Temperature predominant metamorphism) : उन सभी रूपांतरणों के लिये जिनमें ताप प्रमुख प्रभावी कारक होता है, तापीय कायांतरण (Thermal metamorphism) शब्द का प्रयोग किया जाता है। आग्नेय अंतर्वेध राशियां ताप का स्रोत होती हैं एवं उनके समीप उष्मा की प्रचुरता होती है। तापमान बढ़ने के कारण हुई आयतन वृद्धि तथा अंतर्वेध से निस्सरित द्रवों और गैसों के स्थानीय शैलों में अंतःश्रवण (percolation) से अभिक्रियाएं होने के कारण शैलों में कायांतरण होने लगता है। उपरिशायी शैलों के अधोमुखी भार से उत्पन्न दिष्ट दाब जनित परिवर्तन उष्मा जनित परिवर्तनों की तुलना में बहुत कम होते हैं।

अति उच्चताप पर जो कायांतरण आग्नेय राशियों के चारों ओर होता है उसे उच्च तापीय कायांतरण (pyrometamorphism) कहते हैं तथा अपेक्षाकृत निम्न ताप पर होता है उसे संस्पर्श कायांतरण (contact metamorphism) कहते हैं। तापीय संस्पर्श मंडल में स्थित तप्त शैलों में आग्नेय अंतर्वेध संस्पर्श से लेकर अकायांतरित क्षेत्रीय शैलों तक विस्तीर्ण संस्पर्श मंडल में विशाल तापीय प्रवणता (Thermal gradient) के कारण अनेक खनिज मंडल उत्पन्न हो जाते हैं। जैसा कि पूर्व में कहा गया है, अंतर्वेधी राशि में निस्सरित गैसें और तरल पदार्थ संस्पर्श मंडल में श्रवित होते रहते हैं और कायांतरण प्रक्रमों में भाग लेकर शैलों के रासायनिक संघटन को परिवर्तित कर सकते हैं। इस प्रकार के परिवर्तनों को योगज (additive) कायांतरण कहा जाता है। योगज प्रक्रिया में भाग लेने वाले तरल पदार्थों की प्रकृति, उनका श्रोत और परिवर्तित होने वाले शैलों की प्रकृति के आधार पर, यौगिक कायांतरण के तीन भेद किये गये हैं।

(1) जब तरल पदार्थ मुख्यतः गैस और वाष्प रूप में हो और उनके योग से नवीन खनिजों की रचना होती है तब इसे उष्णवाष्पीय (Pneumatolytic) कायांतरण कहा जाता है।

(2) जलीय अथवा उष्ण जलीय विलयनों के कारण होने वाले परिवर्तनों को उष्णजलीय (hydrothermal) कायांतरण कहा जाता है।

(3) कुछ आग्नेय शैलों में खनिजों के क्रिस्टलन के पश्चात वाष्पशील पदार्थों से समृद्ध अवशिष्ट द्रव जब पूर्व क्रिस्टलित आग्नेय शैल राशि से अभिक्रिया कर उसे परिवर्तित कर देता है तब उसे स्वकायांतरण (autometamorphism) कहा जाता है।

(ग) **महासागर तलीय कायांतरण** (Oceanic basal metamorphism) : महासागरीय रिफ्ट क्षेत्रों में नवनिर्मित तप्त महासागरीय मेग्मीय पर्पटी मेटासोमेटिक और तापीय कायांतरण द्वारा महासागर के शीतल जल से पारस्परिक क्रियाशीलता दर्शाती है। इसके फलस्वरूप महासागरीय तप्त मेग्नीय पर्पटी का कायांतरण हो जाता है। इस अभिक्रिया में ताप और रासायनिक घटकों का सक्रिय प्रवाह पाया जाता है। इस परिवर्तन को महासागर तलीय कायांतरण कहा जाता है।

इन शैलों में निम्न कोटि कायांतरण से निर्मित खनिज पाये गये हैं। ये खनिज निम्न दाब और उच्च तापीय प्रवणता के सूचक हैं।

(घ) **दाब और उष्मा प्रमुखी कायांतरण** (Pressure and temperature predominant metamorphism) : दाब और ताप के सम्मिलित प्रभाव के फलस्वरूप शैल में खनिजों का पुनक्रिस्टलन भूपर्पटी के कुछ गहरायी पर क्रियाशील हो जाता है। ताप और दाब कायांतरण की सबसे अधिक प्रभावी शक्तियों में से है। दिष्ट दाब अथवा समदैशिक दाब की प्रमुखता के आधार पर इसे दो भागों में वर्गीकृत किया जा सकता है। पहला उष्मागतिक (dynamothermal) कायांतरण, इस कायांतरण में दिष्टदाब और ताप बलशाली कारक हैं। दिष्ट दाब अवसादों के गहराई पर दफन होने तथा उष्मा की वृद्धि तापीय प्रवणता और ग्रेनाइटी मैग्मा के प्रादेशिक अतिक्रमण (invasion) से होती है। दिष्ट दाब स्थानीय रूप से जलयुक्त खनिजों के गलनांक को घटाता है जिससे घटकों के विसरण पुनक्रिस्टलन और पुनर्विन्यास द्वारा उपयुक्त गठन उत्पन्न हो जाते हैं। इसी के साथ ताप का कार्य पुनक्रिस्टलन को पूर्ण करने में सहायता करना होता है। उष्मा गतिक कायांतरण सामान्यतः पर्वतन क्षेत्रों (orogenic belts) में पाया जाता है।

यह देखा गया है कि ताप और दाब की वृद्धि सभी क्षेत्रों में एक समान नहीं होती है। इसके कारण दाब और ताप के अनुपातों के आधार पर तीन परिस्थितियाँ निर्मित हो सकती है।

1. निम्न दाब वाले कायांतरण कटिबंध
2. मध्यम दाब वाले कटिबंध
3. उच्च दाब वाले कटिबंध (अंतर्हिती कायांतरण)

निम्न दाब कटिबंध और तापीय कायांतरण में लगभग एक ही प्रकार के खनिज पाये जाते हैं। निम्न दाब कटिबंध विस्तृत क्षेत्रों में पट्टियों के रूप में पाये जाते हैं।

दूसरा अत्यधिक गहराई पर जहाँ उच्च तापमान और समदैशिक दाब की प्रधानता होती वहाँ वितलीय कायांतरण (plutonic metamorphism) पाया जाता है।

तीसरे प्रकार में एक स्थिति ऐसी आती है जब शैलों के गलन से नयी मैगमा राशियाँ उत्पन्न होने लगती है। इस स्थिति को पेलेनजेनेसिस (Palangenesis) कहा जाता है।

(च) **प्रगामी और प्रतिगामी कायांतरण** (Progressive and retrogressive metamorphism) : कायांतरण प्रक्रमों में सामान्यतः दाब और ताप प्रगामी (progressive) दिशा में बढ़ते हैं मतलब ताप एवं दाब की वृद्धि के साथ कायांतरण का ग्रेड भी बढ़ता हैं इस प्रकार के कायांतरण को प्रगामी (Progressive) कायांतरण कहा जाता है। इसमें शैल क्रमशः निम्न मध्यम से होते हुए उच्च कोटि के कायांतरित शैलों में परिवर्तित हो जाती हैं। इसके विपरीत जब उच्च श्रेणी के कायांतरित शैल निम्न दाब ताप की परिस्थितियों द्वारा प्रभावित होते हैं तब उनके घटक खनिजों का संतुलन (equilibrium) अस्थिर हो जाता है और कायांतरण की अभिक्रियायें प्रतिगामी दिशा में कार्यशील हो जाती है तो इस प्रकार के परिवर्तनों को प्रतिगामी कायांतरण (retrograde metamorphism) कहते हैं। प्रतिगामी कायांतरण में उपस्थित तरल पदार्थ अभिक्रियाओं की गति तीव्र कर देते हैं जबकि प्रतिगामी कायांतरण में तरल द्रव्यों का अभाव तथा दाब और ताप की कमी के कारण अभिक्रियाओं को सम्पन्न होने में कई अरब वर्षों का समय लग जाता है। इस कारण कायांतरित शैलों में इस प्रकार के परिवर्तन विरले ही होते हैं।

(छ) **बहु कायांतरण** (Polymetamorphism) : उपरोक्त वर्णित सभी कायांतरणों मे परिवर्तन के लिये आवश्यक वातावरण का निर्माण केवल एक बार होता है तथा उसी में सभी कायांतरण अभिक्रियायें संपन्न होती है। कुछ स्थानों पर एक बार कायांतरण हो जाने के पश्चात कायांतरण के लिये आवश्यक परिस्थितियाँ पुनः उपस्थित हो जाती है जिसके कारण पुनः कायांतरण हो जाता है। इस प्रकार जब कोई शैल एक से अधिक कायांतरण चक्रों द्वारा प्रभावित होती है तब इसे बहुकायांतरण कहते हैं।

महत्वपूर्ण कायांतरित शैलें
(Important Metamorphic Rocks)

स्लेट (Slate)

स्लेट धूसर अथवा काले रंग की अत्यधिक सूक्ष्म कणी मृण्मय पदार्थ से निर्मित शैल होती है जो कि माइका (सेरीसाइट), क्लोराइट तथा अपघटित पदार्थ यथा क्वार्ट्ज, फेल्सपार तथा एल्यूमिनियम और लौह के सिलिकेट और हाइड्राक्साइड के चूर्ण से बनी होती है। स्लेटी विदलन इसका लाक्षणिक गुण है। इसमें

विदलन तल पास–पास में होते हैं। सूक्ष्मकणिक होने के कारण खनिजों को आसानी से नहीं पहचाना जा सकता है। अपघटित पदार्थ क्वार्ट्ज एवं फेल्सपार भी होते है। इस शैल की उत्पत्ति मृत्तिकामय अवसादों, ज्वालामुखीय राख एवं सूक्ष्मकणीय अवसादों के कायांतरण के फलस्वरूप हुई हैं। यह कई प्रकार की होती है यथा चूनामय (Calcareous) स्लेट, कार्बनी (Carbonaceous) स्लेट, लाल स्लेट आदि।

फायलाइट (Phyllite)

फायलाइट मृण्मय अवसाद के निम्न श्रेणी के कायांतरण से उत्पन्न होती हैं। फायलाइट स्लेट और शिस्ट के बीच की ऐसी शिष्टाम शैल है जो स्लेट से थोड़े उच्च कायांतरण पर बनती है। यह स्लेट की तुलना में स्थूल कणी किंतु शिष्ट की तुलना में महीन कणी है। इसे पत्रित अभ्रक एवं क्लोराइट चमक (sheen) प्रदान करते हैं। यह चमक इसका लाक्षणिक गुण है। क्लोराइट और माइका युक्त शैल में क्वार्ट्ज और फेलस्पार खनिज गौण रूप से पाय जाते हैं किंतु उन्हें बिना माइक्रोस्कोप की सहायता के नहीं पहचाना जा सकता। कायांतरण की श्रेणी बढ़ने पर ये शिष्ट में परिवर्तित हो जाते हैं।

शिष्ट (Schist)

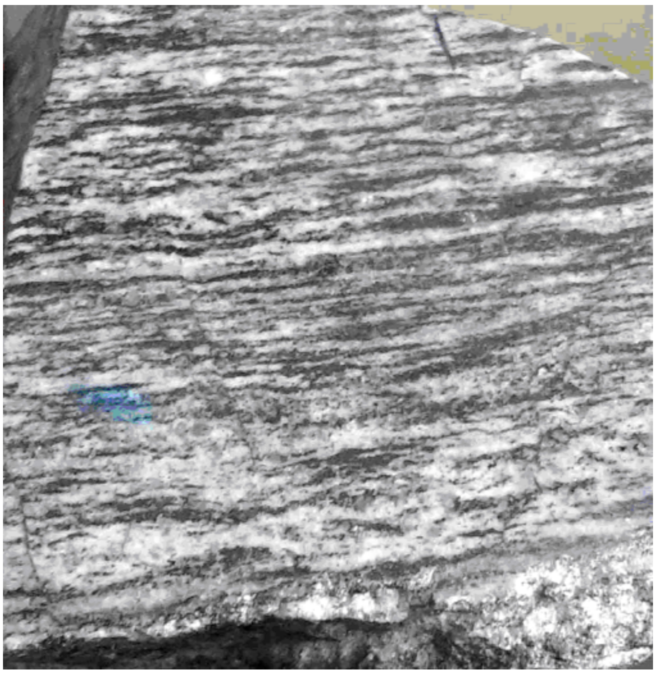
शिष्ट विविध वर्णी, पूर्ण क्रिस्टलीय, स्थूल लक्षणी कायांतरित शैल है। जिसमें शिष्टाभ संरचना (चित्र 3.8) स्पष्ट रूप से पायी जाती है। इसमें शिष्टाभ तलों (स्तरिकायन/foliation) के समानान्तर विपाटन (splitting) की प्रवृत्ति पायी जाती है। खनिजों के पुनक्रिस्टलन के कारण सभी खनिज तीव्र काँचाभ द्युति दर्शाते हैं। प्रमुख खनिज घटक माइका है जो शैल को शिष्टाभता प्रदान करती है। माइका में बायोटाइट एवं मस्कोवाइट पाया जाता है। क्वार्ट्ज, एम्फीबोल, क्लोराइट व टाल्क प्रचुर मात्रा में होते है। गार्नेट मुख्य पॉर्फिरोब्लास्ट है। स्टॉरोलाइट भी दीर्घ क्रिस्टलों के रूप में मिलते है। अन्य खनिज घटक जैसे टूरमलीन, सिलिमेनाइट, पायराइट, हेमेटाइट, मेग्नेटाइट, इल्मेनाइट, ग्रेफाइट, एपेटाइट, जिरकॉन स्फीन, रूटाइल, केल्साइट, कॉर्डियराइट, एक्टिनोलाइट महत्वपूर्ण हैं। इस शैल की उत्पत्ति मृत्तिकामय अवसादों के क्षेत्रीय कायांतरण से होती है।

चित्र 3.8 : शिष्ट शैल

नाइस (Gneiss)

प्रायः सफेद या हल्के एवं गहरे पट्ट वाली पूर्ण क्रिस्टलीय, स्थूल कणी कायांतरित शैल जिसमें नाइसी संरचना (चित्र 3.9) विकसित हो उसे नाइस कहते हैं। यह एकांतर क्रम से उपस्थित समकणी परब्लास्टी कणिका में क्वार्ट्ज फेल्सपार और उससे भिन्न अन्य खनिजों के पट्ट अथवा पत्रित शिष्टाभ संरचना वाली परतें पायी जाती हैं। खनिज संघटन में गहरे वर्णों वाले बायोटाइट एवं हॉर्नब्लेंड तथा हल्के वर्णों वाले क्वार्ट्ज फेलस्पार एवं लाल वर्णी गार्नेट पाया जाता है। गौण खनिजों में एपेटाइट, जिरकॉन, पायराइट, हेमेटाइट, मेग्नटाइट, स्फीन इल्मेनाइट, केल्साइट, टूरमलीन एलानाइट, सिलिमेनाइट तथा कायनाइट मिल सकते हैं। द्वितीयक खनिज मुख्यतः केओलिनाइट, सेरीसाइट एवं क्लोराइट होते हैं। इन्हें सूक्ष्मदर्शी की सहायता से ही पहचान सकते हैं।

इस शैल का मुख्य गुण नाइसी संरचना है। इसी के कारण इसका नाम नाइस रखा गया है। खनिजों की प्रधानता या नाइसी संरचना के साथ कोई विशिष्ट लक्षण जैसे क्वार्ट्ज–फेल्सपार नाइस में इन खनिजों की मात्रा 75 तक होती है। मस्कोव्हाइट नाइस में नाइसी संरचना के साथ प्रमुख खनिजों में क्वार्ट्ज, फेल्सपार एवं माइका होते हैं। माइका में मस्कोव्हाइट की मात्रा बायोटाइट से अपेक्षाकृत अधिक होती है। बायोटाइट नाइस में नाइसी संरचना के साथ प्रमुख खनिजों में क्वार्ट्ज, फेलस्पार एवं माइका होते हैं। माइका में अधिकांश मात्रा बायोटाइट की होती है।



चित्र 3.9 : नाइस शैल

क्वार्ट्ज फेलस्पार नाइस की उत्पत्ति फेलसिक आग्नेय शैलों (जैसे ग्रेनाइट), अशुद्ध बालुकामय अवसादों (जैसे आर्कोज, मृत्तिकामय सेंडस्टोन आदि) से मानी जाती है। कायांतरण क्षेत्रीय गहराई पर तथा उच्च कोटि की होती है।

मिग्मेटाइट (Migmatite)

मिग्मेटाइट ग्रेनाइट के संस्पर्शों पर मिश्रित शैल मंडल में मिलने वाली कायांतरण शैल है जो कि प्रादेशिक शैल से भिन्न होती है। यह दो शैलों के मिश्रण से बनी है। एक तो प्रादेशिक शैल जो कायांतरण मैटेसोमेटिज्म से परिवर्तित हुई होती है एवं दूसरी ग्रेनाइट की लगभग समानान्तर परतें एवं शिराऐं प्रादेशिक शैल में इस तरह घुसी रहती है कि मिग्मेटाइट में पट्टित संरचना बन जाती है। यह क्वार्ट्ज, फेल्सपार, बायोटाइट, हार्नब्लेंड एवं स्पिन से बनी है। इसका खनिजीय संघटन प्रादेशिक शैलों एवं ग्रेनाइट पर निर्भर करता है।

कणिकाश्म (Granulite)

कणिकाश्म हल्के रंग की कायांतरण शैल है जो परब्लास्टी (xenoblastic) फेल्सपारो एवं क्वार्ट्ज के कणों से बनी है। यह समकणिक शैल है जिसमें क्वार्ट्ज, फेल्सपार, पायरॉक्सीन और गार्नेट प्रचुर मात्रा में उपस्थित रहते है। हायपरस्थीन, डायोप्साइड के साथ अल्प मात्रा में माइका मिलती है। कभी–कभी अल्प मात्रा में सिलिमेनाइट कायनाइट और स्पिनेल उपस्थित होते हैं। इसमें प्रिज्मेटिक एवं सपाट आकार के कण अनुपस्थित रहते हैं। स्फटिक कणों के रेखीयतः दीर्घित होने के कारण और विभिन्न खनिज संघटनों की पट्टियों के एकांतरण से इन शैलों का प्रारूपिक गठन नाइस का होता है। कणिकाओं का रासायनिक संघटन ग्रेनाइट अथवा फेल्सपार युक्त बालुकाश्म का होता है। इसकी उत्पत्ति उच्चस्तरीय क्षेत्रीय कायांतरण से होती है।

महत्वपूर्ण बिन्दु

1. शैल विज्ञान के अंर्तगत शैलों के निर्माण उनके प्रकार, मिलने की अवस्थाओं, संघटन, गठन, एवं संरचना आदि का अध्ययन करते हैं।
2. मैग्मा शब्द गर्म, स्थूल, गाढ़ा दलिया जैसे द्रव्यमान (mass) के लिये प्रयुक्त किया जाता है।
3. मैग्मा 1800°C से ऊपर द्रव अवस्था में रहता है।
4. आग्नेय शैलों का निर्माण मैग्मा एवं लावा के शीतलन एवं पिंडन (solidification) से होता है।
5. बेसाल्टी लावा का तापमान उद्गार के समय 1100° ± 100°C होता है।
6. रायोलाइटी लावा बेसाल्टी लावा की तुलना में अधिक श्यान होता है।
7. मैग्माओं में SiO_2, Al_2O_3, CaO, FeO, MgO, Fe_2O_3, K_2O, Na_2O तथा TiO_2 मुख्य स्थिर घटक हैं।
8. भूपर्पटी की मोटाई प्रायः समुद्रीय भूपर्पटी (Oceanic crust) के लिए लगभग 6 किमी तथा महाद्वीपीय भूपर्पटी के लिए लगभग 30 किमी तक मानी जाती है।
9. आग्नेय शैल राशियों के रूप मैग्मा के रासायनिक संघटन, तापक्रम, श्यानता, प्रवाह की गति, तथा जिन संस्तरों में वे अंतर्वेधित हो रहे हैं, उनके भौतिक और रासायनिक लक्षणों पर निर्भर होते हैं।
10. यदि मैग्मीय राशि का अंतक्षेपण संस्तर तलों के समानान्तर हुआ है तब शैल रूप अनुस्तर (concordant) और यदि मैग्मीय शैल क्षेत्रीय शैलों के संरचनात्मक तलों को काटते हुए अंतःक्षेपित हुआ है तब इस प्रकार के रूप को अननुस्तरी (discordant) कहा जाता है।
11. लैकोलिथ उल्टे कटोरे के समान आग्नेय शैल रूप है जिनका निचला तल लगभग समतल तथा ऊपरी सतह उत्तल होता है।
12. 'लोपोलिथ' यूनानी लोपास (lopas) शब्द से बना है जिसका अर्थ ''प्याला'' होता है।
13. ''आ'' लावा की सतह अत्यधिक रूक्ष, खुरदरी और खंडित होती है।
14. आग्नेय शैलों में पूर्ववर्ती स्थानीय शैल के खंड अंतर्विष्ट हो जाते हैं तब इन खंडों को अपराश्म (जीनेलिथ) या अंतर्वेश कहते हैं।
15. वर्तमान में आग्नेय शैलों के वर्गीकरणों को तीन स्थूल वर्गों में रखा जा सकता है–
    (i) रासायनिक वर्गीकरण – ये शैलों के रासायनिक संघटन पर आधारित है।
    (ii) गठनीय वर्गीकरण – ये शैलों के गठन और भू–वैज्ञानिक उपस्थिति पर आधारित हैं।
    (iii) खनिजीय वर्गीकरण – ये शैलों के खनिज संघटन, प्रकार और मात्रा पर आधारित है।
16. पेग्मेटाइट का नाम वितलीय शैलों के समान संघटन वाले स्थूल एवं अति स्थूल क्रिस्टलीय शैलों के लिये प्रयुक्त किया जाता है।
17. वो शैलें जो पूर्व स्थित शैलों को अनाच्छादित करने वाली शक्तियों यथा जल, वायु, आदि की रासायनिक या बलकृत अपरदन (erosion) एवं अपक्षय (weathering) क्रिया से बनती है और जल में निक्षेपित होती है को अवसादी शैलें कहते हैं।

18. शैलों के अपरदन एवं अपक्षय प्रक्रिया द्वारा निर्मित छोटे छोटे शैल एवं खनिज कणों को अवसाद (sediment) कहते हैं।
19. अवसाद के बनने की विधि को अवसादीकरण (sedimentation) कहते हैं।
20. अवसादों के संपिंडित शैलों में परिवर्तन की क्रिया शैलीभवन (Lithification) कहलाती है।
21. उत्परिवर्तन (Saltation) गति में कण बहाव की दिशा में छलांग लगाते हुए परिवहित होते हैं।
22. सीमेंटीभवन में अवद्ध अवसाद कण संयोजक पदार्थों द्वारा आपस में बंध जाते हैं।
23. गोल कणों वाले असंपीडित गुटिकामय निक्षेप जिन्हें बजरी या शिंगिल (gravel) कहते हैं, के संपिडन से संगुटिकाश्म का निर्माण होता है।
24. संकोणाश्म कोणीय या उपकोणीय गुटिकामय शैल खण्डों का संपिडित समुच्चय है।
25. किसी ठोस शैल में दाब ताप और रासायनिक वातावरण में प्रमुख परिवर्तनों के प्रभाव के कारण नवीन संतुलन स्थापित होते हैं जिसके फलस्वरूप उन शैलों में खनिजात्मक एवं संरचनात्मक परिवर्तन होते हैं जिसे कायांतरण कहते हैं।
26. कायांतरण में दो प्रकार के प्रेरक कारकों को कायांतरण के लिये उत्तरदायी माना गया है। 1. तापमान एवं दाब के रूप में भौतिक कारक और 2. रासायनिक सक्रिय द्रवों के रूप में रासायनिक कारक।
27. सामान्यतः कायांतरण में तापमान 150°C से 900°C तक होता है।
28. आग्नेय और कायांतरित गठनों का समिश्रण दर्शाने वाले मिग्मेटाइट शैलों की उत्पत्ति को कायांतरण की अंतिम सीमा माना जाता है।
29. अति उच्चताप पर जो कायांतरण आग्नेय राशियों के चारों ओर होता है उसे उच्च तापीय कायांतरण है।
30. शिस्ट विविध वर्णी, पूर्ण क्रिस्टलीय, स्थूल लक्षणी कायांतरित शैल है। जिसमें शिष्टाभ संरचना स्पष्ट रूप से पायी जाती है।
31. प्रायः सफेद या हल्के एवं गहरे पट्ट वाली पूर्ण क्रिस्टलीय, स्थूल कणी कायांतरित शैल जिसमें नाइसी संरचना विकसित हो नाइस के नाम से जानी जाती है।

अभ्यासार्थ प्रश्न

वस्तुनिष्ठ प्रश्न

1. पेग्मेटाइट कौनसी शैल है –
(अ) अवसादी (ब) आग्नेय
(स) कायान्तरण (द) कोई नहीं
2. प्यालेनुमा मैग्मीय आकृति को क्या कहते हैं –
(अ) लोपोलिथ (ब) लैकोलिथ
(स) बैथोलिथ (द) सिल
3. फायलाइट शैल किसमें आती है –
(अ) आग्नेय (ब) अवसादी
(स) कायान्तरण (द) कोई नहीं
4. अपदलनी कायान्तरण में प्रमुख कारण है –
(अ) दिष्ट दाब
(ब) अपरूपण प्रतिबल
(स) दिष्ट दाब या अपरूपण प्रतिबल
(द) ताप
5. निम्न में से कौनसी अवसादी शैल कार्बनयुक्त है –
(अ) बालुकाश्म (ब) चूना पत्थर
(स) आर्कोज (द) इनमें से कोई नहीं
6. निम्न प्रक्रमों में से डायजेनेसिस का भाग नहीं है –
(अ) संहनन (ब) प्रतिस्थापन
(स) पुनःक्रिस्टल (द) उत्परिवर्तन

अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

1. सिल किसे कहते है?
2. लैकोलिथ को परिभाषित कीजिये।
3. अपराश्म (Xenolith) क्या है?
4. रायोलाइट के मुख्य खनिजों के नाम लिखो।
5. प्रतिस्थापन क्या है?
6. पुनःक्रिस्टलन समझाइये।
7. समरासायनिक कायान्तरण क्या है?
8. भूतापीय प्रवणता क्या है?
9. बहुकायान्तरण को समझाइये।
10. संस्पर्श कायान्तरण क्या होता है?

लघुत्तरात्मक प्रश्न

1. बहिर्वेधी आग्नेय शैलों के कौन–कौन से रूप होते है? लिखिये।
2. भूपर्पटी का रासायनिक संघटन लिखिये।
3. बावेन्स की अभिक्रिया श्रृंखला लिखिये।
4. स्तंभी एवं प्रिज्मीय संधि को समझाइये।
5. गेब्रो शैल का वर्णन लिखो।
6. उत्परिवर्तन क्या है?

7. सीमेंटीभवन को समझाइये।
8. अवसादी शैलों का खनिज संघटन बताइये।
9. संगुटिकाश्म का वर्णन करो।
10. कायान्तरण के लिए ताप के स्रोत क्या है?
11. अपदलनी कायान्तरण समझाइये।
12. स्लेट से आप क्या समझते है।

निबंधात्मक प्रश्न

1. आग्नेय शैलों के विभिन्न रूपों का वर्णन करो।
2. आग्नेय शैलों का सारणीबद्ध वर्गीकरण लिखिये।
3. अवसादी शैलों के बनने की विधि लिखिये।
4. डायजेनेसिस की क्रियाविधि लिखिये।
5. कायान्तरण के प्रकारों का वर्णन करो।

उत्तरमाला : 1 (ब) 2 (अ) 3 (स)
4 (स) (5) ब 6 (द)