Metamorphism and Metamorphic Rocks التحول والصخور المتحولة

يتميز صخرة المرمر marble بملسها الناعم وبريقها الجميل والوانها الرائعة وما هي الا صخرة حجر جيري او دولومايت اثرت فيها عوامل التجول فأصبحت صخرة متحوله يختلف نسيجها وصفاتها عن الصخرة الرسوبية الام . اذن الصخور المتحولة تلك الصخور التي تحولت عن حالتها الأصلية (نارية أو رسوبية) إلى حالة أخرى جديدة وهذا التغير قد يكون تغيرا في الصفات الكيميائية أو الفيزيائية او المعدنية ، ويطلق على العمليات التي تؤدي إلى تغير الصخرة بعمليات التحول وتتم هذه العمليات بسبب الحرارة الشديدة او بفعل الضغط او كليهما .

جزء كبير من القشرة الارضية القارية مكونه من الصخور المتحولة والنارية معا والتي يؤلفون (صخور القاعدة البلورية) – و(هي صخور القاعدة التي تترسب فوقها الطبقات الرسوبية فمثلا تحت مدينة الحلة بحدود ٨ كم هو عمق صخور القاعدة) وهذه الصخور في القارات لذا نسميها – الدروع Shields والتي كانت مستقرة قبل ٥٠٠ مليون سنه كما في الخارطة . بعض الصخور المتحولة مثل المرمر والسليتslate تستخدم كمواد بناء وبعضها تعتبر احجارا كريمة مثل العقيقgarnets او ادوات للكشط والتالكtalc يستخدم في صناعات مستحضرات التجميل وفي الاصباغ وايضا كمواد تشحيم فهي مهمة اقتصاديا، والحرير الصناعي asbestos من المعادن المتحوله المهمة التي تستخدم كعوازل وفي عزل الحرائق .

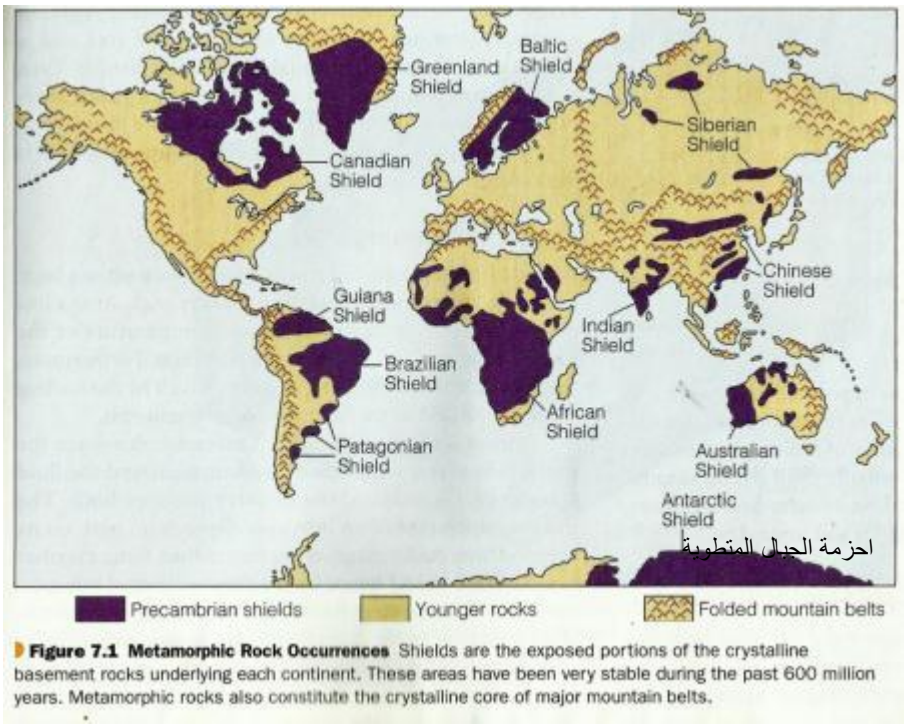
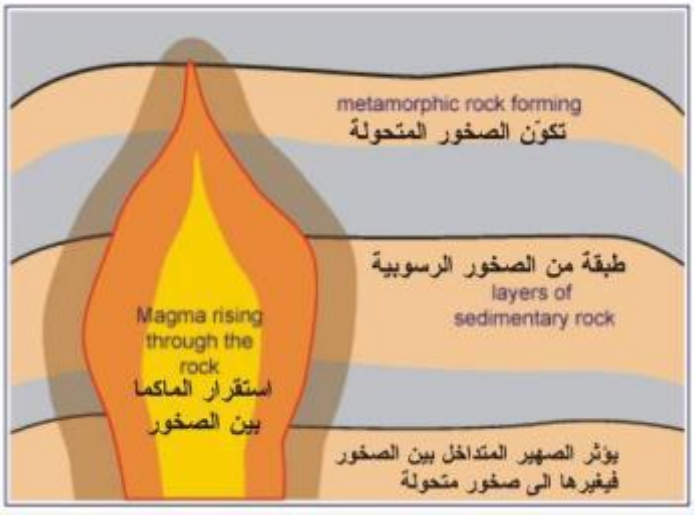


Figure 7.1 Metamorphic Rock Occurrences Shields are the exposed portions of the crystalline basement rocks underlying each continent. These areas have been very stable during the past 600 million years. Metamorphic rocks also constitute the crystalline core of major mountain belts.

The agents of عوامل التحول metamorphism:-

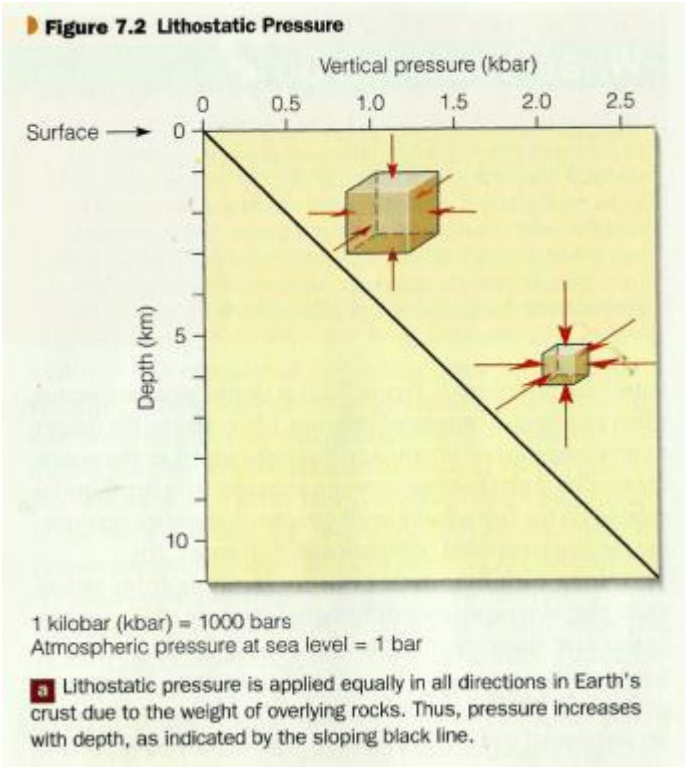
ثلاثة عوامل رئيسية تسبب التحول وهي الحرارة heat والضغط pressure وفعاليات الموائع fluid activity والزمن timeايضا مهم في عمليات التحول لان التفاعلات الكيميائية تحتاج الى وقت مختلف تبعا لعمليات التحول لتكتمل هذه التفاعلات. وعادة تحتاج المعادن السيليكاتية وقت اطول ولكون المعادن السيليكاتية هي الشائعة فيعتقد عموما ان عمليات التحول تحتاج الى وقت طويل جدا. خلال عمليات التحول تكون الصخور الاصلية متوازنة مع بيئاتها وهذا يعني انها مستقرة كيميائيا وفيزيائيا تحت هذه الظروف، وعند تغير الظروف سيتغير التوازن تحت الظروف البيئية الجديدة وقد يؤدي لتكون معادن جديدة او تغير في نسيجها او كليهما واحيانا الصفات العامة للصخرة الاصلية قد تبقى واضحة في الصخرة المتحولة الناتجة منها واحيانا لا نستطيع تميز الصخرة الاصلية التي تكونت منها الصخرة المتحولة الا بصعوبة بالغة واحيانا لا نستطيع تمييزها بالمرة.

١- **الحرارة Heat:-** من العوامل المهمة في عمليات التحول لانه سيزيد في نسبة التفاعلات الكيميائية والتي ينتج عنها معادن جديدة تختلف عن تلك التي في الصخرة الاصلية . ومصدر الحرارة قد يأتي من الماكما الداخلية (المتداخلة) intrusive magma او الماكما الخارجة (المنبثقة) extrusive magma وانسيابها للأعلى او كنتيجة الى عمق الدفن في القشرة استنادا الى التصادم والاندساس (انزلاق صفيحة تحت اخرى) بين الصفائح التكتونية وعلى طول حدودها . عادة كتل الصهير تحت سطح الارض ستؤثر في الصخور المحيطة بها وسيكون التأثير بالصخور المجاورة للصهير اكبر تأثيرا نت تلك الصخور التي تكون على مسافة ابعد من الصهير حيث يتناقص التأثير تدريجيا كلما ابتعدنا عن الصهير، ونستطيع تميز (نطاق) تأثير الماكما بالصخور المجاورة لها ببساطة. وكما نعلم ان درجات الحرارة تزداد ٢٥م° كلما نزلنا ا كم تحت سطح الارض، فالصخور التي تكونت على سطح الارض ربما تنزل الى الاعماق بسبب نزول الصفيحة الارضية تحت الصفيحة المجاورة حسب نظرية حركة الصفائح وبنزول هذه الصخور للأسفل ستتعرض الى درجات حرارة عالية وضغط شديد في الاعماق، بعض المعادن ستتغير الى معادن جديدة تكون اكثر استقرارا تحت الظروف الجديدة من الضغط والحرارة العاليين.



Wallstone

٢- **الضغط Pressure :-** خلال عمليات الدفن ستتعرض الصخور الى ضغط شديد **يسمى الضغط الصخري lithostatic pressure** وهذا يعني القوة بالنسبة لوحدة المساحة في الصخور في القشرة الارضية Earth's crust هي متشابهة في كل الاتجاهات كما يحصل بجسم مغمور بالماء فان الضغط المسلط عليه ايضا متساوي بكافة الاتجاهات كما في الشكل. واحيانا يسلط على الصخور ضغطا غير متساوي اكثر شده من اتجاه معين فيسمى ضغطا تفاضليا differential pressure عندما يؤثر ضغطا غير متساوي على صخرة ويحصل هذا عند اصطدام صفيحتين تكتونية ويكون الضغط الافقي اكبر من الضغط العمودي والصخور الناتجة لها نسيج مميز . .



٣- **فعاليات الموائع Fluid activity:-** على الاغلب في مناطق التحول فان الماء وثاني اوكسيد الكاربون يكون موجودين بكميات مختلفة على الحدود بين حبيبات المعادن او في مسامات او الفراغات الموجودة في الصخرة. وهذه المحاليل تحمل ايضا ايونات ذائبة سيعزز عمليات التحول بزيادة نسبة التفاعلات الكيميائية ، تحت

الحالة الجافة تتفاعل المعادن ببطء شديد ولكن حتى بوجود كميات قليلة من الموائع ستزداد نسبة التفاعلات الكيميائية ، وذلك بسبب ان الايونات ستتحرك بسرعة خلال الموائع وتعزز من سرعة التفاعلات وتكون معدن جديدة.

الفعاليات الكيميائية للموائع مهمة في عمليات التحول وتأتي هذه الموائع من الناحية الاولية من **ثلاث مصادر**:- **الاول** هو الماء المحصور في مسامات وفراغات الصخور الرسوبية عند تكونها. الثانية: الموائع المتطايرة والمتواجدة ضمن الصهير، والثالثة: جفاف او فقدان الماء التي تحويع بعض المعادن مثل الجبس gypsum $CaSo_4 * 2\ H_2O$ وايضا في بعض المعادن الطينية التي يكون في تركيبها الكيميائي بعض جزيئات الماء.

انواع التحول الثلاثة The three types of metamorphism:-

ميز الجيولوجيون ثلاثة انواع من عمليات التحول:- التماسي contact او ما يسمى بالحراري thermal metamorphism وهو التحول الناتج من حرارة الصهير وفعاليات الموائع والتي تحدث تغيرات في الصخرة الاصلية، والثاني يسمى التحول الديناميكي dynamic metamorphism والناتج عن الضغط التفاضلي differential pressure مع تشوه شديد intense deformation والثالث هو التحول الاقليمي regional metamorphism والذي يحصل في مناطق واسعة في حوادث عمليات بناء الجبال.

١- **التحول التماسي Contact metamorphism**:- يحصل في الصخور المحيطة بماكما فتحصل التغيرات نتيجة الحرارة وايضا نتيجة الحرارة المتولدة من احتكاك الصفائح مع بعضها وينتج ايضا تكون معادن جديدة.

التحول الحراري هو عامل مهم فالحرارة والموائع تغير في الصخور تدريجيا عن الجسم الناري. ويعتمد التحول حول حجم الجسم الناري فاذا كان كبيرا فانه يحتاج لوقت طويل حتى يبرد وبالتالي سيكون تأثيره اكبر على الصخور المجاورة وقد تتفاعل مكونات الصهير الكيميائية الساخنة مع الصخور المجاورة مكونه معادن جديدة ومركبات جديدة خاصة في منطقة التماس ويكون نسيجها غير متورق Non foliated.مثال تفاعل حجر الجير الرسوبي مع السليكا (في الصهير) مكونا معدن الولستونايت

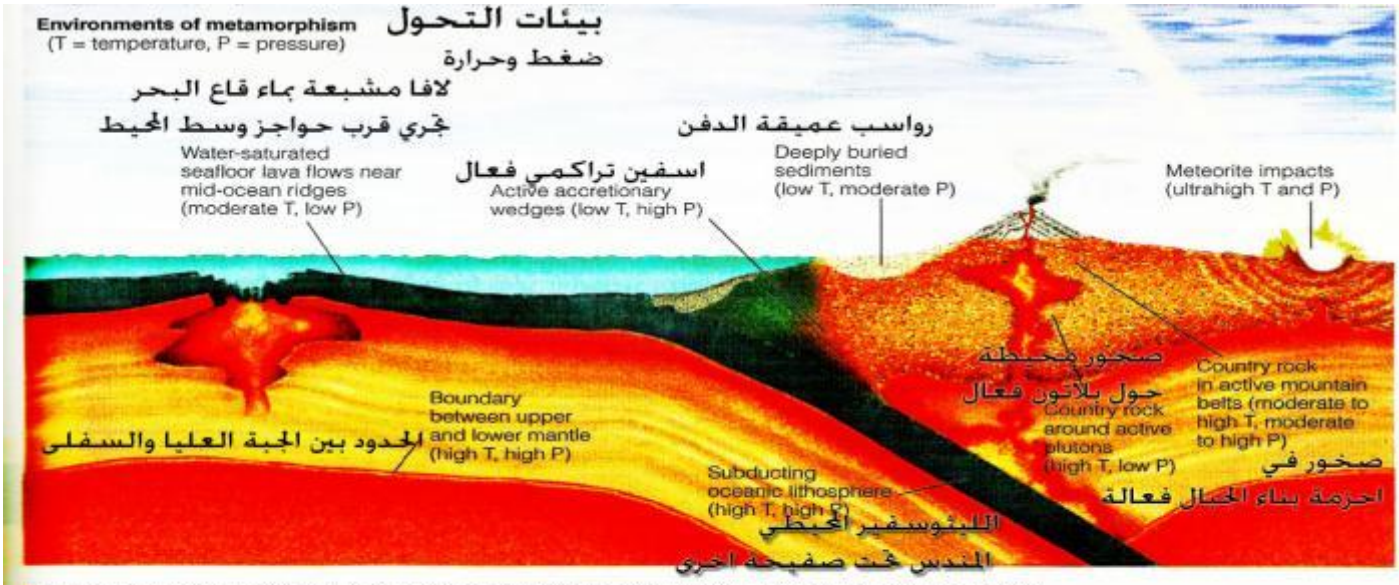


Figure 7.4 Environments of Metamorphism The type of metamorphism that results depends largely on which of the three metamorphic agents was dominant. Illustrated here are some of the common metamorphic environments associated with plate movement, and whether the temperature and pressure in this environment is considered low, moderate, or high. The third agent of metamorphism, fluid activity, although playing an important role in metamorphism, isn't shown here, but is discussed in the text.

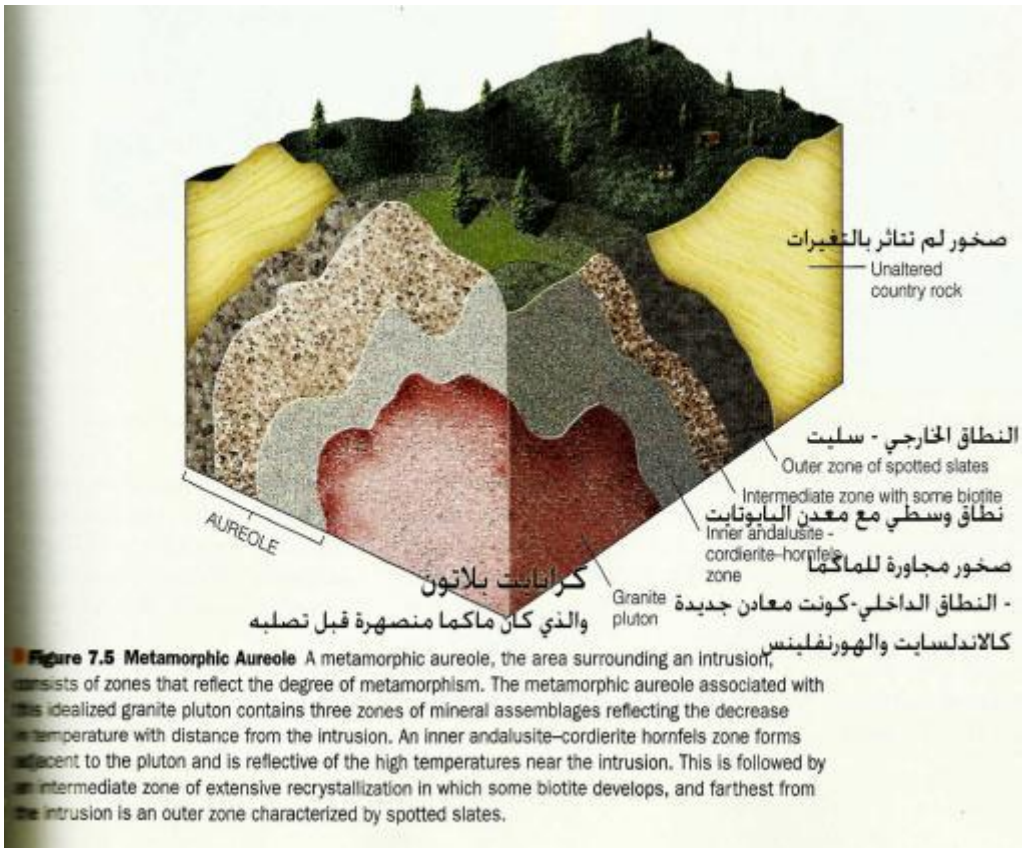


Figure 7.5 Metamorphic Aureole A metamorphic aureole, the area surrounding an intrusion, consists of zones that reflect the degree of metamorphism. The metamorphic aureole associated with this idealized granite pluton contains three zones of mineral assemblages reflecting the decrease in temperature with distance from the intrusion. An inner andalusite–cordierite hornfels zone forms adjacent to the pluton and is reflective of the high temperatures near the intrusion. This is followed by an intermediate zone of extensive recrystallization in which some biotite develops, and farthest from the intrusion is an outer zone characterized by spotted slates.

$$CaCo_3 + SiO_2 + 2H2O \longrightarrow CaSiO_3 + CO_2 + CH4$$

الشكل المجاور يوضح تأثير (هالة aureole) الجسم الناري على الصخور المجاورة والتأثير يبدا من بضع سنتيمترات عند الاجسام النارية الصغيرة (dyke (and sillsالى مئات الكيلومترات عند الاجسام النارية الكبيرة (batholoith) . وتلعب الموائع دورا كبيرا في زيادة التفاعلات لأنه تساعد في تكون معادن جديدة ويعتمد ذلك على ما تحمله الموائع من ايونات واي اعلى تركيب الصخور المجاورة المعدني بوجود الحرارة العالية من الاجسام النارية.

٢- التحول الديناميكي Dynamic metamorphism:-

معظم التحولات الديناميكية مرتبطة بحصول الفوالق والتكسرات عند تحصل الحركات الارضية وعلى امتدادها في القشرة الارضية الضحلة (القريبة من السطح) تحدث عملية التحول بفعل الضغط الشديد الواقع فوق الصخور وينتج تغير عام في النسيج الصخري وسبب هذا التحول تحركات القشرة الأرضية التي تسبب انثناء الصخور وتكسرها مما يؤدي لتكوين نسيج جديد تكون المعادن فيه شكلا صفائحي في مستويات متعامدة مع اتجاه الاجتهادات الأكبر فتصبح ذات نسيج متورق.

التحول الاقليمي Regional metamorphism:- ينتج هذا التحول من الحركات التكتونية والتقلصات الباطنية في باطن الارض وتتعرض الصخور الى ضغط وحرارة شديدين ويظهر هذا التحول في الالاف من الاقدام ومساحات شاسعة لألاف الاميال . فالتحول يحدث تحت ضغط عالي وحرارة عالية أو واطئة وان الصخور المتكونة تكون متورقه النسيج مثل النيس (Gnies) . ولا يحصل هذا النوع من التحول فقط عند التقاء الصفائح المتقاربة كذلك عند مناطق ابتعاد الصفائح عند الاعماق الضحلة بسبب التدرج الجيوحراري المرافق لهذه العمليات.

درجات التحول ودليل المعادن ازاؤها Index minerals and metamorphic grade:- من الدراسات الحقلية ومن التجارب المختبرية هناك معادن تتكون فقط ضمن درجات حرارة معينة ومديات من الضغط معينة وتسمى **دليل المعادن Index minerals** ومنه نستطيع ان نعرف درجات التحول اذا تحولا عاليا مثلا تبعا لهذه المعادن ، **ودرجات التحول metamorphic grade** مصطلح يعني الصفات العامة لدرجات التحول والتي تصبح فيها الصخور متحوله

وعلى الرغم ان حدود هذا التدرج غير دقيقة ولكننا نستطيع تميزها، فالصخور الغنية بالمعادن الطينية مثل الشيل shale تحت التحول الاقليمي تتحول الى معادن الكلورايت chlorite تحت حرارة ٢٠٠م ° اولا وتشير الى درجة تحول واطئة ثم بارتفاع درجات الحرارة تصبح البيئة التي تكون فيها الكلورايت غير مناسبة فيصبح غير مستقر تحت البيئة والظروف الجدية فيتبلور معدن جديد هو المسكوفايتmuscovite وهكذا ترتفع الحرارة فيتبلور البايوتايت ثم الكارنيت وهو اشارة الى درجة التحول تصبح وسطية حتى ستتبلور السليمانايت وهو يشير الى درجة تحول عالية. كما في الشكل:-

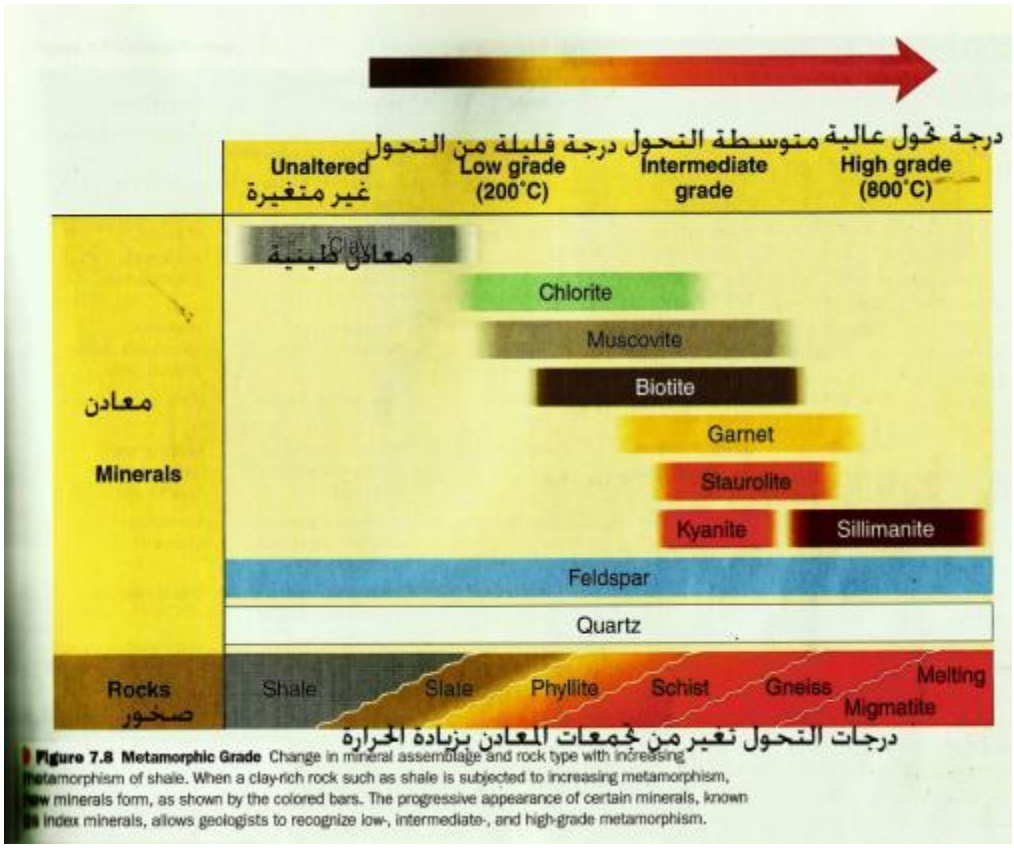


Figure 7.8 Metamorphic Grade Change in mineral assemblage and rock type with increasing metamorphism of shale. When a clay-rich rock such as shale is subjected to increasing metamorphism, new minerals form, as shown by the colored bars. The progressive appearance of certain minerals, known as index minerals, allows geologists to recognize low-, intermediate-, and high-grade metamorphism.

تصنيف الصخور المتحولة Classification of metamorphic rocks:-

وتصنف الى متورقه وغير متورقه:

١- الصخور المتحولة المتورقة Foliated metamorphic rocks:- وهي الصخور التي تعرضت لعامل الحرارة والضغط الشديدين وتكون بلورات معادنها قد ترتبت صفائحي او بشكل متوازي نتيجة لذلك فأصبحت (نسيج متورق). وتترتب الصخور المتحولة الصفائحية تبعا للخشونة(حجم) بلورات معادنها ودرجة اكتمال الصفائحية perfection of floated .

السليت slate (درجة التحول واطئة) يملك بلورات معادنها ناعمة مرتبة على شكل صفائح ومن الصعب تمييز معادنها بدون (عدسة مكبرة)، تنتج من التحول الاقليمي لصخور الطينية وتشققها صفائحي . اما **الفايلايت phyllite** يشبه مكونات السليت ولكن بلورات معادنها اكبر حجما ونميزها عن السليت ببريقها الزجاجي او اللماع وينتج من التحولات الاقليمية. اما **الشيست schist** : يعتمد تكوينها على الصخور الام وشدة التحول وتنتج من تحول الصخور الرسوبية الغنية بالمعادن الطينية ويملك ٥٠% من مكوناتها بلورات طولية صفائحية وتكون واضحة(كبيرة) وهي شائعة في درجات التحول الواطئة الى درجة عالية التحول **النايس gneiss** تكون بلورات معادنها خشنة وواضحة ، و درجة التحول تكون عالية وتكون بلوراتها مرتبة بالوان غامقة وفاتحة بالتتابع ومؤلفة غالبا من الكوارتز والفلدسبار وهي فاتحة اللون بينما معادن البايوتايت والهورنبلند تكون غامقة لأنها معادن حديدية وتنتج هذه الانواع من الصخور من اعادة التبلور للصخور الرسوبية الغنية بالمعادن الكطينية خلال التحول الاقليمي وايضا قد يكون مصدرها الصخور النارية مثل الكرانايت.

TABLE 7.1 Classification of Common Metamorphic Rocks

Texture	Metamorphic Rock	Typical Mineral	Metamorphic Grade	Characteristics of Rocks	Parent Rock
Foliated	Slate	Clays, micas, chlorite	Low	Fine-grained, splits easily into flat pieces	Mudrocks, volcanic ash
	Phyllite	Fine-grained quartz, micas, chlorite	Low to medium	Fine-grained, glossy or lustrous sheen	Mudrocks
	Schist	Micas, chlorite, quartz, talc, hornblende, garnet, staurolite, graphite	Low to high	Distinct foliation, minerals visible	Mudrocks, carbonates, mafic igneous rocks
	Gneiss	Quartz, feldspars, hornblende, micas	High	Segregated light and dark bands visible	Mudrocks, sandstones, felsic igneous rocks
	Amphibolite	Hornblende, plagioclase	Medium to high	Dark, weakly foliated	Mafic igneous rocks
	Migmatite	Quartz, feldspars, hornblende, micas	High	Streaks or lenses of granite intermixed with gneiss	Felsic igneous rocks mixed with sedimentary rocks
Nonfoliated	Marble	Calcite, dolomite	Low to high	Interlocking grains of calcite or dolomite, reacts with HCl	Limestone or dolostone
	Quartzite	Quartz	Medium to high	Interlocking quartz grains, hard, dense	Quartz sandstone
	Greenstone	Chlorite, epidote, hornblende	Low to high	Fine-grained, green	Mafic igneous rocks
	Hornfels	Micas, garnets, andalusite, cordierite, quartz	Low to medium	Fine-grained, equidimensional grains, hard, dense	Mudrocks
	Anthracite	Carbon	High	Black, lustrous, subconcoidal fracture	Coal

وأخيرا صخور **الامفيبولايت amphibolite** : وهي صخور داكنة مكونه من معدن الهورنبلند والبلاجيوكليس ونسيجها صفائحي رقيق ناتجة من درجات تحول متوسطة الى عالية التحول.

٢- **الصخور المتحولة الغير متورقة Nonaffiliated metamorphic rocks:-** في بعض الصخور المتحولة لا تترتب بلورات معادنها وزلا تتوجه باي طريقة ، فيسمى نسيج صخري غير متورق Un foliated texture ينتج هذا التحول من التحول الحراري حيث تكون حبيبات الصخرة غير منظمه الترتيب ويتكون نتيجة تبلور معادن الصخرة الأصلية إلى بلورات اكبر حجما، وهي على **نوعين اولهما يتالف من معدن واحد** مثل **المرمر marble** والمشهور ويتألف من كربونات الكالسيوم (معدن الكالسايت) او الدولومايت dolomite وحبيباته متدرجةى من ناعمة الى خشنة وينتج من التحول الحراري (التماسي) او التحول الاقليمي للحجر اللامستونlimestone ولونه تلجي الى ابيض بالنسبة للنقي ولكنه يتواجد بالوان مختلفة وذلك بسبب وجود معادن اخرى كشوائب وايضا **والكوارتزايتquartzite** ويكون صلبا وينتج من الصخر الرملي الكوارتزي بدرجة تحول من وسط الى عالية التحول. **والثانية وهي المؤلفة من عدة معادن** مثل **الكرينستونgreenstone** وهي اي صخرة لونها اخضر وحبيباتها ناعمة وصلبة ناتجة من الصخور النارية تحت درجة تحول واطئة الى عالية واللون اخضر هو بسبب معدن الكلورايت الاخضر. **والهورنفينسhornfels** هي صخور شائعة غير متورقة من التحول التماسي مؤلفة حبيبات معدنها متساوية وتركيبها المعدني يعتمد على الصخرة الام .ثم **الانثراسايت**

anthracite وهي صخور سوداء ناتجة من تحول صخور الفحم الحاوي على نسبة عالية من الكاربون ويستخدمه الناس للتدفئة واستخدامات أخرى ودرجة تحوله واطئة.

Geo-Recap

Chapter Summary

- Metamorphic rocks result from the transformation of other rocks, usually beneath Earth's surface, as a consequence of one or a combination of three agents: heat, pressure, and fluid activity.
- Heat for metamorphism comes from intrusive magmas, extrusive lava flows, or deep burial. Pressure is either lithostatic (uniformly applied stress) or differential (stress unequally applied from different directions). Fluids trapped in sedimentary rocks or emanating from intruding magmas can enhance chemical changes and the formation of new minerals.
- The three major types of metamorphism are contact, dynamic, and regional.
- Contact metamorphism takes place when a magma or lava alters the surrounding country rock.
- Dynamic metamorphism is associated with fault zones where rocks are subjected to high differential pressure.
- Regional metamorphism occurs over a large area and is usually caused by tremendous temperatures, pressures, and deformation within the deeper portions of the crust.
- Metamorphic grade generally characterizes the degree to which a rock has undergone metamorphic change.
- Index minerals—minerals that form only within specific temperature and pressure ranges—allow geologists to recognize low-, intermediate-, and high-grade metamorphism.
- Metamorphic rocks are primarily classified according to their texture. In a foliated texture, platy and elongate minerals have a preferred orientation. A nonfoliated texture does not exhibit any discernable preferred orientation of the mineral grains.
- Foliated metamorphic rocks can be arranged in order of increasing grain size, perfection of their foliation, or both. Slate is fine grained, followed by (in increasingly larger grain size) phyllite and schist; gneiss displays segregated bands of minerals. Amphibolite is another fairly common foliated metamorphic rock. Migmatities have both igneous and high-grade metamorphic characteristics.
- Marble, quartzite, greenstone, hornfels, and anthracite are common nonfoliated metamorphic rocks.
- Metamorphic zones are based on index minerals and are areas of rock that all have similar grades of metamorphism, that is, they have all experienced the same intensity of metamorphism.
- A metamorphic facies is a group of metamorphic rocks whose minerals all formed under a particular range of temperatures and pressures. Each facies is named after its most characteristic rock or mineral.
- Metamorphism occurs along all three types of plate boundaries, but is most common at convergent plate margins.
- Metamorphic rocks formed near Earth's surface along an oceanic–continental convergent plate boundary result from low-temperature, high-pressure conditions. As a subducted oceanic plate descends, it is subjected to increasingly higher temperatures and pressures that result in higher-grade metamorphism.
- Many metamorphic rocks and minerals, such as marble, slate, graphite, talc, and asbestos, are valuable natural resources. In addition, many ore deposits are the result of metamorphism and include copper, tin, tungsten, lead, iron, and zinc.

12. Why is metamorphism more widespread along convergent plate boundaries than along any other type of plate boundary?
13. Using Figure 7.19, go to a point that is represented by 200°C and 2 kbar of pressure. What metamorphic facies is represented by those conditions? If the pressure is raised to 12 kbar, what facies is represented by the new conditions? What change in depth of burial is required to effect the pressure change from 2 to 12 kbar?
14. How do metamorphic rocks record the influence of differential pressure in their structures and mineral textures?
15. What specific features about foliated metamorphic rocks would make them unsuitable as foundations for dams? Are there any metamorphic rocks that would make good foundations? Explain your answer.
16. How can aureoles be used to determine the effects of metamorphism?
17. Describe the two types of metamorphic texture, and discuss how they are produced.
18. If plate tectonic movement did not exist, could there be metamorphism? Do you think metamorphic rocks exist on other planets in our solar system? Why?
19. Why should the average citizen know about metamorphic rocks and how they form?
20. Discuss the role each of the three major agents of metamorphism plays in transforming any rock into a metamorphic rock.

Important Terms

aureole (p. 171)
contact (thermal) metamorphism (p. 170)
differential pressure (p. 169)
dynamic metamorphism (p. 174)
fluid activity (p. 169)
foliated texture (p. 176)
heat (p. 169)
index mineral (p. 174)
lithostatic pressure (p. 169)
metamorphic facies (p. 182)
metamorphic grade (p. 174)
metamorphic rock (p. 168)
metamorphic zone (p. 182)
metamorphism (p. 168)
nonfoliated texture (p. 178)
regional metamorphism (p. 174)

Review Questions

1. To which metamorphic facies do metamorphic rocks formed under low-temperature, low-pressure conditions belong?
   a. _____ granulite;
   b. _____ zeolite;
   c. _____ amphibolite;
   d. _____ blueschist;
   e. _____ eclogite.
2. Which of the following metamorphic rocks displays a foliated texture?
   a. _____ marble;
   b. _____ quartzite;
   c. _____ greenstone;
   d. _____ schist;
   e. _____ hornfels.
3. Concentric zones surrounding an igneous intrusion and characterized by distinctive mineral assemblages are
   a. _____ thermodynamic rings;
   b. _____ hydrothermal regions;
   c. _____ metamorphic layers;
   d. _____ regional facies;
   e. _____ aureoles.
4. Which is the correct metamorphic sequence of increasingly coarser grain size?
   a. _____ gneiss —> schist —> phyllite —> slate;
   b. _____ phyllite —> slate —> schist —> gneiss;
   c. _____ schist —> slate —> gneiss —> phyllite;
   d. _____ slate —> phyllite —> schist —> gneiss;
   e. _____ slate —> schist —> phyllite —> gneiss.
5. The metamorphic rock formed from limestone or dolostone is called
   a. _____ quartzite;
   b. _____ marble;
   c. _____ hornfels;
   d. _____ greenstone;
   e. _____ schist.
6. In what type of metamorphism are magmatic heat and fluid activity the primary agents of change?
   a. _____ dynamic;
   b. _____ lithostatic;
   c. _____ contact;
   d. _____ regional;
   e. _____ thermodynamic.
7. From which of the following rock groups can metamorphic rocks form?
   a. _____ plutonic;
   b. _____ sedimentary;
   c. _____ metamorphic;
   d. _____ volcanic;
   e. _____ all of these.
8. Along what type of plate boundary is metamorphism most common?
   a. _____ divergent;
   b. _____ transform;
   c. _____ aseismic;
   d. _____ convergent;
   e. _____ lithospheric.
9. Pressure resulting from deep burial and applied equally in all directions on a rock is
   a. _____ directional;
   b. _____ differential;
   c. _____ lithostatic;
   d. _____ shear;
   e. _____ unilateral.
10. Which of the following is not an agent of metamorphism?
    a. _____ pressure;
    b. _____ heat;
    c. _____ fluid activity;
    d. _____ gravity;
    e. _____ none of these.
11. Where does contact metamorphism occur, and what types of changes does it produce?