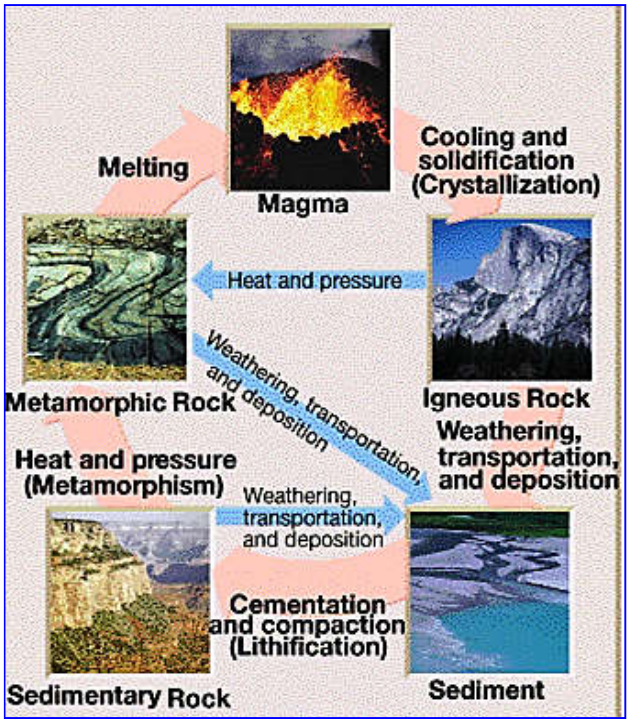
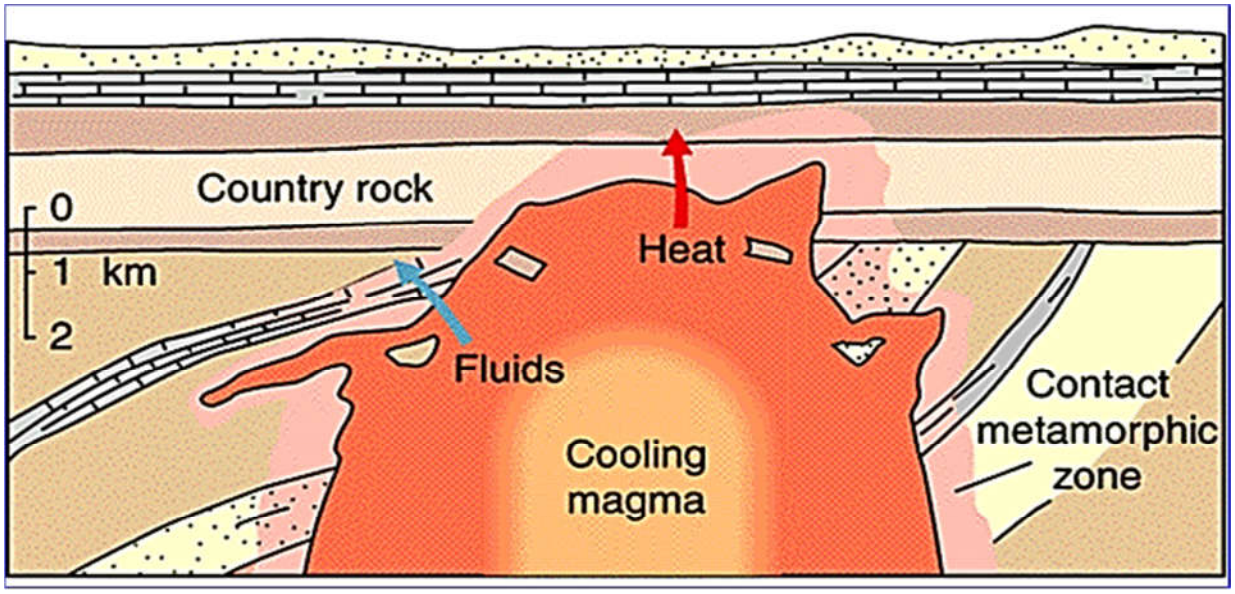
الصخور المتحولة (Metamorphic Rocks)



الصخور المتحولة، هي تلك المشتقة من صخور أخرى سواء كانت صخوراً نارية أو رسوبية أو متحولة، اذ يتغير تركيبها المعدني، وقوامها، وبناؤها، بفعل الضغط والحرارة تحت الأعماق في القشرة الأرضية. والتحولات هذه تشمل إعادة التبلور، والتفاعلات الكيمياوية بين المكونات المعدنية للصخر إلا أنه قد يحدث بعض التبادل الكيمياوي مع السوائل وخاصة الماء H_2O. لذلك، تكون الظروف التي تتكون فيها الصخور المتحولة ظروفاً وسطاً بين تلك التي تتكون فيها الصخور الرسوبية على السطح والظروف التي تتبلور فيها الصخور النارية من الصهير.

عوامل التحول : تشمل عوامل التحول الضغط، والحرارة، والسوائل الناشطة كيماوياً وتعمل عليه مجتمعة إلا ان درجة التحول ومدى مساهمة كل من تلك العوامل فيه يختلف بين بيئة وأخرى. ففي التحول من الدرجة المنخفضة يتعرض الصخر لضغط وحرارة أعلى قليلاً مما هي عليه في عمليات تصخر الرواسب. أما في التحول من الدرجة العالية فإن الصخر يتعرض لدرجة حرارة وضغط عالية قريبة من درجة الانصهار. تشمل عوامل التحول:

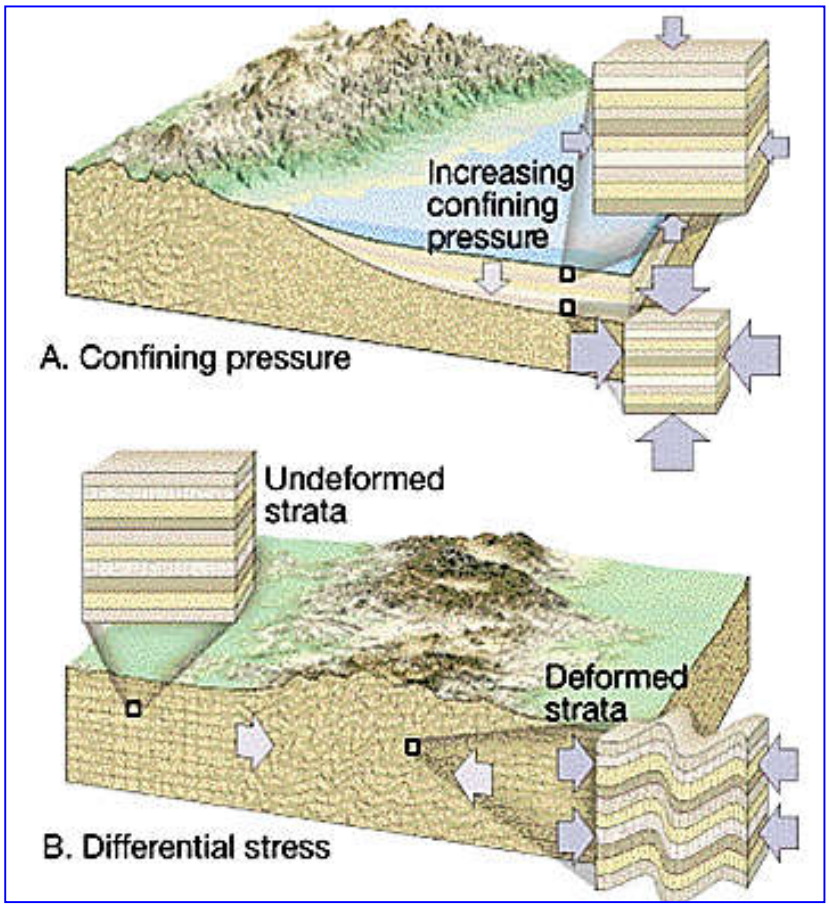
1- عامل الحرارة: تعد الحرارة أهم عوامل التحول. تتعرض الصخور السطحية لحرارة شديدة عندما يتسرب إليها الصهير من الأسفل. وعندما يحدث التغير بهذه الطريقة يطلق على العملية بتحول الاتصال أو الملامسة Contact Metamorphism. ويكون هذا النوع من التحول واضح عندما يحدث قريباً من السطح، اذ يكون التغاير في درجة الحرارة بين الصهير المتداخل والصخور السطحية كبير جداً.



ففي هذه الحالة، يحدث طبخ للصخور السطحية بالصهير المتداخل. وفي هذه البيئة عالية الحرارة، منخفضة الضغط، تكون الحدود بين الصخور النارية الجوفية المتبلورة من الصهير والصخور المتحولة بحرارة الصهير واضحة جداً. إذ تزداد درجة الحرارة بازدياد التوغل في القشرة الأرضية بمعدل 30 درجة مئوية لكل كيلومتر، فإن الصخور التي تكونت على السطح قد تتعرض لحرارة عالية، عندما تتوغل في الأرض أعماقاً بعيدة. وعندما يكون توغلها قليلاً فإن الصخر لا يتأثر إلا بمعادنها وخاصة المعادن الطينية التي تصبح غير مستقرة تحت الظروف الجديدة التي تؤول إلى تبلورها بشكل معادن مستقرة. أما بعض المعادن وخاصة تلك المكونة للصخور النارية السطحية (البركانية) فإنها تكون مستقرة تحت درجات الحرارة والضغط العالية نسبياً؛ لذلك لا تتحول إلا في عمق يزيد على 20 كيلومتراً.

2- عامل الضغط: ينقسم الضغط الذي يؤدي إلى تحول الصخور إلى نوعين، هما: الضغط الهيدروستاتيكي Hydrostatic Pressure، والضغط الإجهادي Stress Pressure.

أ- الضغط الهيدروستاتيكي: هو الضغط الذي يكون متساوياً في جميع الاتجاهات وقد سمي هيدروستاتيكي لأنه النوع الوحيد من الضغط الذي يمكن أن يوجد في السوائل. وهو ينشأ عن دفن الصخور في أعماق مختلفة من القشرة الأرضية ويزداد بازدياد تلك الأعماق. لذلك يعرف الضغط الهيدروستاتيكي أحياناً بضغط الحمل Load Pressure أو الضغط الصخرستاتيكي Lithostatic Pressure. عندما يكون الصخر مسامياً أو فيه فراغات كالشقوق مثلاً، فإنه يتعرض لضغط الحمل وضغط الموائع (الغازات والسوائل). إذ المسامات والفراغات في الصخور مهما كانت ضئيلة فقد تكون مملوءة بالغازات و/أو السوائل؛ والضغط الواقع على هذه الموائع يختلف عن الضغط الواقع على الأجزاء الصلبة من الصخر. فعندما يكون الصخر المدفون تحت عمق في القشرة الأرضية متصلاً بالسطح من خلال صدع مثلاً فإن ضغط الموائع يكون أقل كثيراً من ضغط الحمل. أما إذا كان محبوساً تماماً كأن يكون بين طبقتين من الطين مثلاً فإن ضغط الموائع قد يكون أكبر من ضغط الحمل بسبب تضاغط الصخر والعمق.



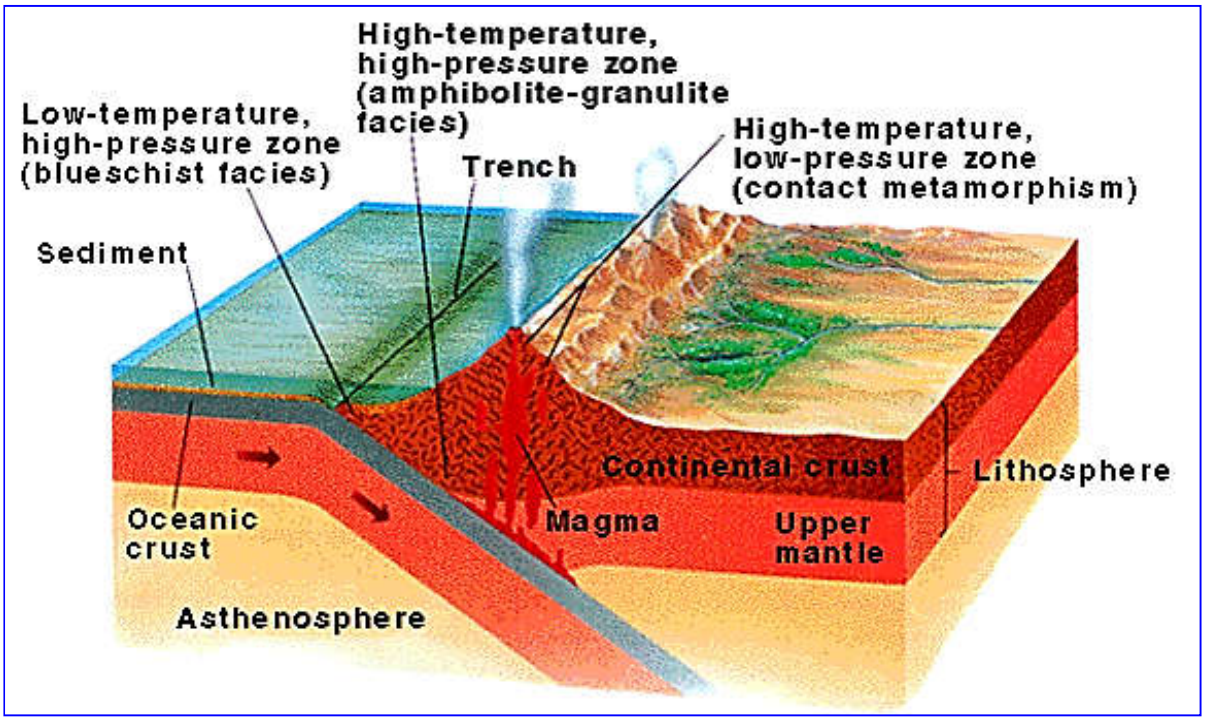
ب- ضغط الإجهاد: ضغط الإجهاد أو الضغط الموجه، هو الضغط الذي يعمل في اتجاه واحد دون الاتجاهات الأخرى. وهو العامل الأساسي في تشوه الصخور Deformation. كما أن له تأثيراً كبيراً في تبلور أنواع معينة من المعادن في الصخور المتحولة، مثل: الكلورايت Chlorite، والميكا Mica، والكيانيت Kyanite.

عملية التحول(Metamorphism)

هو التغيير في تركيب و نسيج معادن الصخور و الحاصل في الحالة الصلبة لصخور القشرة الأرضية نتيجة ارتفاع درجات الحرارة والضغط. تتحول الصخور في ظروف مختلفة عن الظروف التي تتكون فيها الصخور الرسوبية والصخور النارية. فالصخور الرسوبية تتكون على السطح في درجات حرارة أقل من تلك التي تتكون فيها الصخور المتحولة؛ وتحت ضغط هيدروستاتيكي وضغط إجهادي أقل كثيراً من الضغوط السائدة في بيئة التحول.

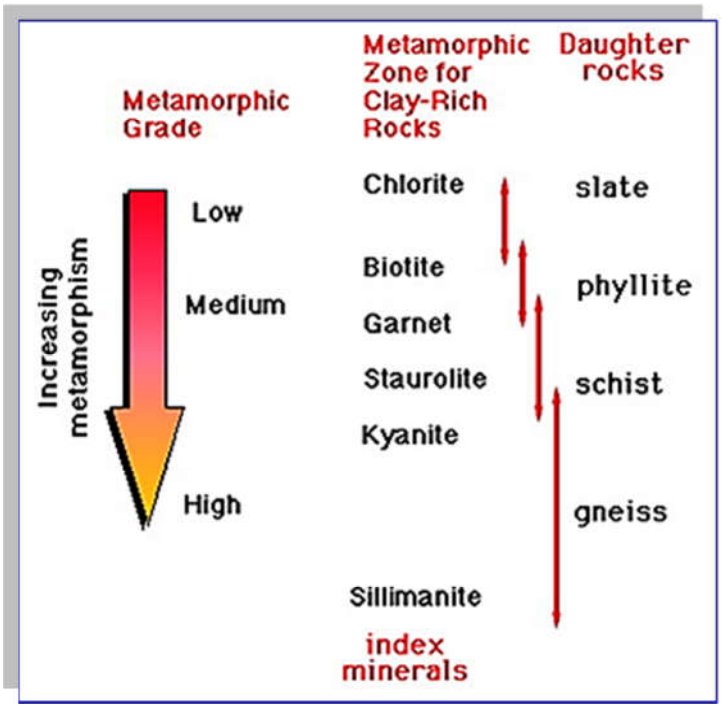
أما الصخور النارية فتتبلور في درجات حرارة وتحت ضغوط تفوق تلك التي تسود خلال عملية التحول. وتستجيب الصخور لعمليات التحول تحت القيم المختلفة لكل من الحرارة والضغط الهيدروستاتيكي والضغط الموجه، بثلاثة أشكال:

1-عندما يحدث التحول تحت ضغط موجه شديد ولكن الضغط الهيدروستاتيكي قليل ودرجة حرارة منخفضة فإن الصخور تستجيب للضغط الموجه فتتهشم وتتشوه تشوهاً هشاً أي أن تكسرها وتشققها يكون موازياً أو يكاد يوازي الأسطح حيث تحدث الحركات الانزلاقية .



2- عندما يتحقق التحول عند درجة حرارة عالية وتحت ضغط هيدروستاتيكي وموجه منخفض فإن استجابة الصخر تتمثل في تفكك معادن الصخر الأصلي التي أصبحت غير ثابتة لتتحول الى معادن ثابتة تحت الظروف الجديدة. ويحدث ذلك بانتشار الأيونات المكونة لمعادن الصخر الأصلي في السوائل الموجودة في المسامات والشقوق ثم تبلورها من جديد.

3- إذا تحول الصخر بسبب ارتفاع درجة الحرارة والضغط الهيدروستاتيكي والموجه، فإن استجابته تكون عن طريق إعادة تبلور المعادن لتصبح مستقرة؛ والانسياب أو التشوه اللدن تحت تأثير الضغط الموجه بدلاً من التهشم؛ لأن الحرارة العالية والضغط الهيدروستاتيكي العالي تزيدان من لدونة الصخر ما يجعله قابلاً للانسياب تحت تأثير الضغط الموجه.



لذلك يسفر هذا النوع من التحول عن تغير في التركيب المعدني ناجم عن إعادة تبلور المعادن لتصبح مستقرة تحت الظروف الجديدة وعن تغير في النسيج يكون موازناً لقوة ضغط الإجهاد الذي تعرضت له.

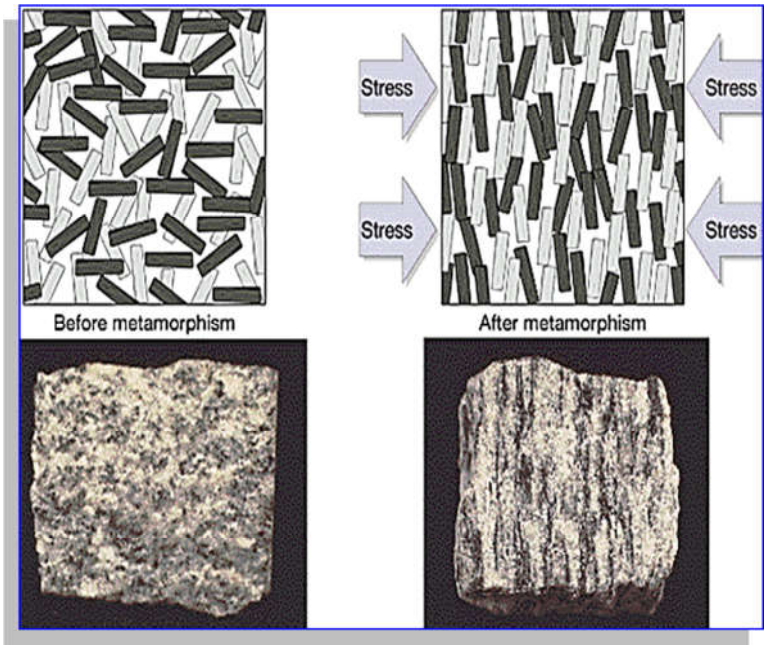
نلخص ما ورد أعلاه في ان:

عملية التحول تؤثر في الصخر الأصلي سواء أكان رسوبيا أو ناريا أم متحولا والتغيير يتم في صفاته الظاهرية والداخلية .

– الصخور الناتجة عن عملية التحول جديدة في خواصها عن خواص الصخور الأصلية .

– الصخور النارية ذات البلورات المبعثرة المنتشرة بغير أنظمة تتغير إلى صخور ذات بلورات مرتبة في صفوف متوازية.

– الصخور الرسوبية: عندما تتحول تصبح اشد صلابة وأكثر تبلورا.



واختلاف عملية التحول بين الصخور النارية والرسوبية يعتمد على وجود أو عدم وجود الماء ضمن تركيب صخور الأم. وينتج عن عملية التحول اختفاء المتحجرات من الصخور الرسوبية. وهذا التحول يسبب تكوين معادن مستقلة ذات تحمل عالي للحرارة و الضغط مثل:

1– معدن الكلورايت– ينتج من المعادن الطبيعية للصخور الرسوبية.

2– الكارنت والستورولايت من معادن الصخور النارية .

3– بايروفايلايت من الكاؤلينايت.

4– الموسكوفايت من السمكتايت.

5– الكالسايت من الاراكونايت.

والصخور الناتجة تكون جديدة في خواصها عن الصخور الأصلية بسبب: إعادة ترتيب البلورات بشكل صفوف متوازية. وإعادة تبلور المعادن (تتحطم فيها المتحجرات وتختفي ضمن معادن الصخور المتحولة).

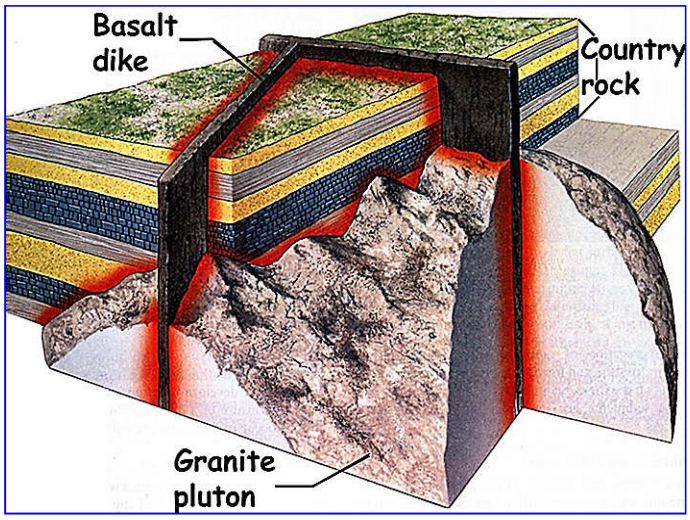
<u>أنواع التحول</u>: يقسم التحول حسب البيئات التي يتحقق فيها إلى أنواع أربعة، هي:

<u>1– التحول التهشمي(cataclastic metamorphism)</u>: يحدث التحول التهشمي تحت ضغط موجه كبير قرب السطح حيث الضغط الهيدروستاتيكي والحرارة منخفضة تؤدي إلى تهشم الصخور وطحنها من دون تكون معادن جديدة.

2-التحول الحراري (Contact Metamorphism): التحول الحراري يعرف بالتحول التماسي ؛ لأنه يحدث في الصخور الملامسة أو المحيطة بالتداخلات النارية، وخاصة ذات التركيب الحمضي. ولا يكون هذا النوع من التحول واسع النطاق، إنما ينحصر في مئات من الأمتار من سطح التماس مع التداخلات النارية. وإن عامل التحول هنا هو الحرارة الصادرة عن التداخلات النارية فإن رتبة التحول تتدرج إلى الانخفاض مع البعد عن سطح التماس مع التداخلات النارية. وان نسبة ونوعية تحول الصخور يعتمد على:

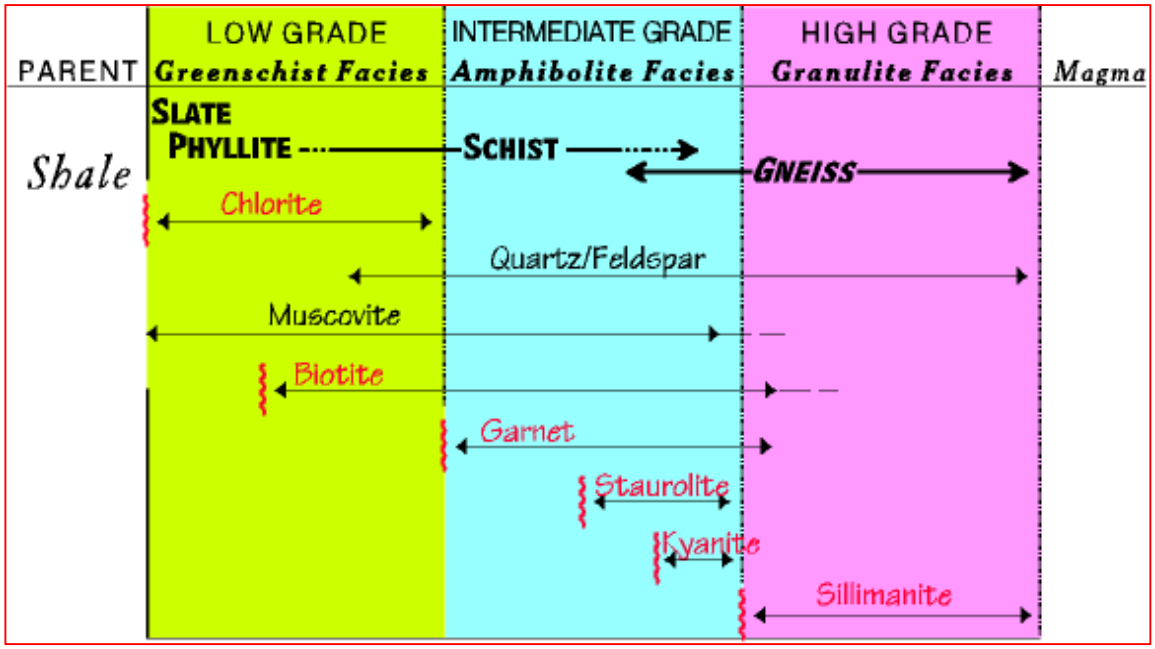
ا- خواص وحجم الجسم الناري المتداخل.

ب- التركيب الكيميائي للصخر المحيط بالجسم .



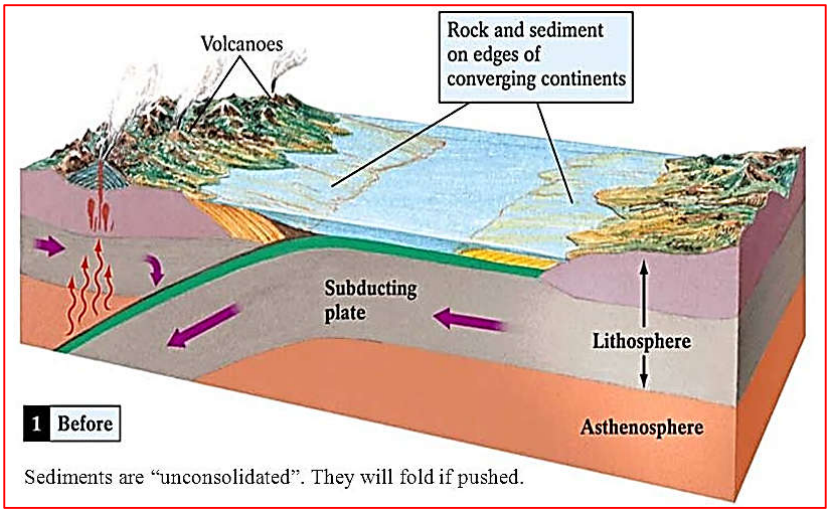
3- التحول الإقليمي(Regional Metamorphism): التحول الإقليمي هو أكثر أنواع التحول انتشاراً وتنوعاً؛ إذ إن الصخور المتحولة الناتجة من التحول الإقليمي، تشكل مساحات شاسعة من دروع عصر ما قبل الكامبري Precambrian؛ وفي المناطق العميقة في أحزمة جبال الطي المنكشفة، على السطح بفعل التعرية. وقد استدل من الدراسات الحقلية والبتروجرافية على أن هذا النوع من التحول، ينجم عن كل من الحرارة العالية، والضغط الهيدروستاتيكي، والضغط الموجه؛ وذلك بدرجات متفاوتة. فالعامل الأساسي في التحول الإقليمي يكون الحرارة حيناً والضغط الهيدروستاتيكي أو الموجه حيناً آخر.

ويصاحب التحول الإقليمي عادة، تشوه للصخور بعمليات الطي المعقدة التي تدل على أن الصخر كان في حالة لدنة أثناء عملية التحول الإقليمي. ومن الممكن تتبع الزيادة في رتبة التحول في اتجاه أفقي معين بملاحظة ظهور بعض بلورات المعادن التي تدل على تلك الرتبة إذ تظهر بلورات معدن الكلورايت في الصخر ثم معدن المسكوفايت ثم معدن البايوتايت ثم معدن الجارنت ثم معدن الستورولايت ثم معدن السيليمنايت .



4- التحول الطمري(Burial Metamorphism):

يحدث هذا النوع من التحول في أحواض الترسيب العميقة التي يصل سمك صخورها الرسوبية إلى عدة آلاف من الأمتار ما يزيد من درجة الحرارة والضغط تدريجياً مع العمق. وتوجد أحواض الرسوب العميقة عادة على الحافات الهدمية لصفائح القشرة الأرضية الناتجة من انضواء صفيحة تحت أخرى ما يكون الأخاديد العميقة.



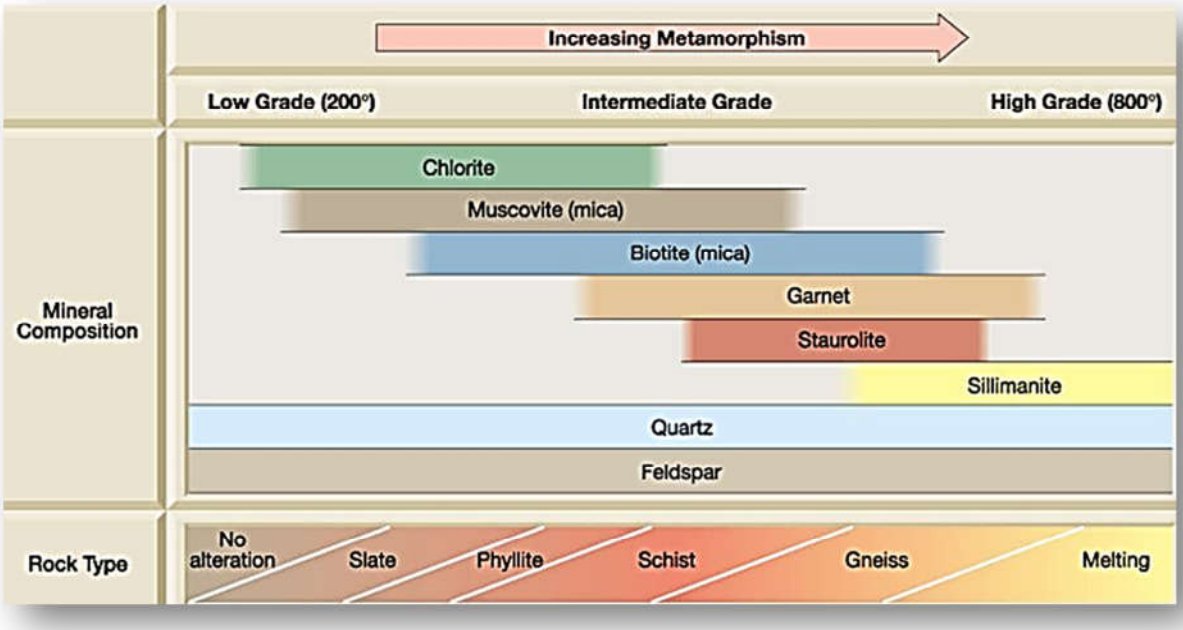
التركيب المعدني للصخور المتحولة :

التركيب المعدني والكيميائي في الصخور المتحولة مشابه إلى حد ما للتراكيب المعدنية في الصخور النارية والرسوبية . ولتأثير الحرارة والضغط تكونت معادن ذات تركيب كيميائي مشابه لبقية الصخور ولكنها معادن مستقلة تكونت تحت ظروف الحرارة والضغط والتي لا تتحملها معادن الصخور النارية والرسوبية ومنها معادن الكايانايت Kyanite، الزويسايت Zoisite، الكارنت Garnet، الستورولايت Stourolite، التالك Talc، الكلورايت والسريسايت Sericite.

ملاحظات :

- وجود معدن الكلورايت و السريسايت في الصخور المتحولة يعني ان التحول كان بدرجة حرارة وضغط واطئة .
- وجود الكارنت والستورولايت يعني ان التحول حصل نتيجة حرارة وضغط عاليين .

ان المعادن الأخرى التي يمكن ان توجد في الصخور المتحولة فهي الكوارتز والفلدسبار والأمفيبول والبايروكسين والمايكا .



نسيج الصخور المتحولة: يختلف نسيج الصخور المتحولة حسب نوع التحول الذي نتجت عنه.

ا: النسيج غير المتورق(non foliated)

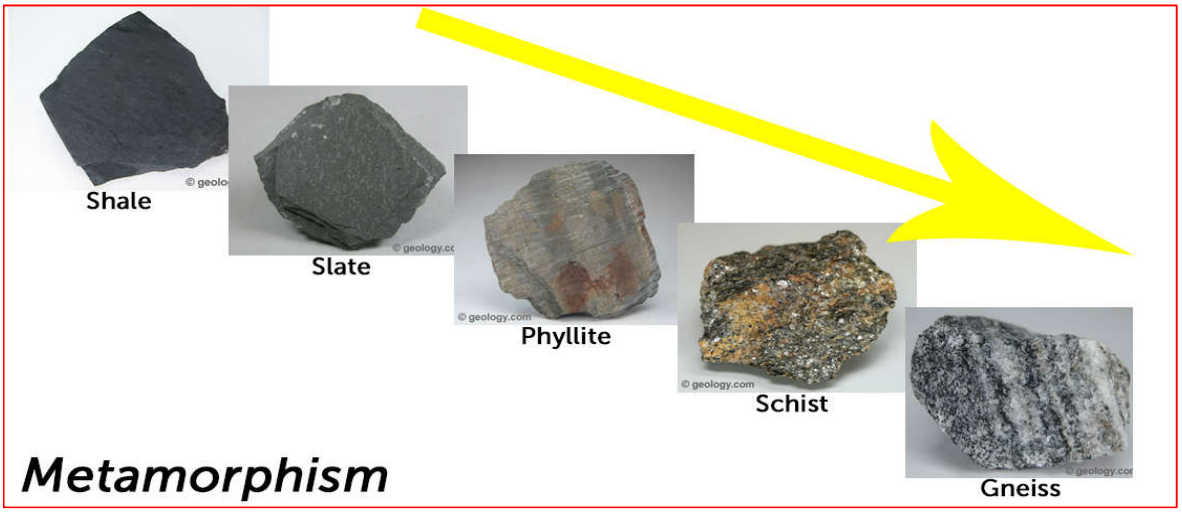
–النسيج الحبيبي أو الهورنفلسي(Granular): الصخور المتحولة الناجمة عن التحول الحراري تكون بلورات معادنها على شكل حبيبات ذات أبعاد متساوية وموزعة بالتساوي في جميع أجزاء الصخر ما يجعل الصخر صلباً متماسكاً وله مكسر سكري. ويعرف هذا النسيج بالحبيبي أو النسيج الهورنفلسي.

–النسيج البورفيروبلاستي: يحدث أثناء عملية إعادة التبلور أن تنمو بلورات معدن بسرعة تفوق نمو بلورات المعادن الأخرى. يشبه النسيج البورفيري في الصخور النارية .

ب: النسيج المتورق(Foliated Texture)

1) النسيج المتورق(foliated): نسيج ينتج عن التحول الإقليمي ويتميز ببلوراته المفلطحة في اتجاهات مفضلة نتيجة للضغط الموجه. لذلك يتميز نسيج الصخر بالترقق(foliated) لاحتوائه على معادن المايكا (مسكوفايت وبايوتايت). وهي على انواع حسب حجم الحبيبات(السليتي– الشستي– الفايلاتي)

2) النسيج الشرائطي المتورق(banded foliation) يتميز برقائق مختلفة في التركيب المعدني متناوبة مع بعضها (الرقائق فاتحة اللون– غنية بمعادن الكوارتز والفلدسبار متبادلة مع رقائق داكنة – غنية بمعادن البايوتايت والهورنبلند) والصخر يأخذ المظهر الشرائطي إضافة إلى التورق.



تصنيف الصخور المتحولة (Classification of Metamorphic Rocks):

تصنيف الصخور المتحولة وتسميتها يستند أساساً إلى نسيجها؛ فتعطي الصخر اسمه بناءً على النسيج الشائع فيه، ثم يلحق باسمه أسماء معادنه الأساسية مرتبة ترتيباً تصاعدياً من المعدن الأقل شيوعاً إلى الأكثر شيوعاً. وعندما يكون الصخر المتحول متميزاً بتركيب معدني ثابت فإنه يعطى أسماء خاصة تدل على ذلك التركيب.

تقسم الصخور المتحولة اعتمادا على النسيج (texture)إلى قسمين رئيسين هما:

1– الصخور المتحولة الصفائحية(Foliated Rocks)

تتميز هذه الصخور بوجود طبقات رقيقة متوازية من المعادن وتنكسر وتتشقق هذه الصخور في المستويات المتوازية من هذه المعادن. وتقسم هذه الصخور اعتمادا على سمك الصفائح إلى أربعة مجاميع :

أ- الصخور الإردوازية (Slaty)

تتكون على شكل صفائح رقيقة متوازية مفصولة بمستويات رقيقة لا ترى الا بالمجهر وهذه السطوح ملساء للغاية وهذه الصخور ناتجة عن تأثير الضغط على الصخور الطينية مكونة صخرة Slate(الإردواز).

ب- الصخور الفيليتة(Phyletic)

وتكون هذه الصخور ذات صفائح صغيرة يمكن تمييزها بالعين وهي اقل انتظاما مما موجود في الإردواز والمثال على هذه الصخور الفايلايت (Phyalite).

ج- صخور الشست (Schist Rocks)

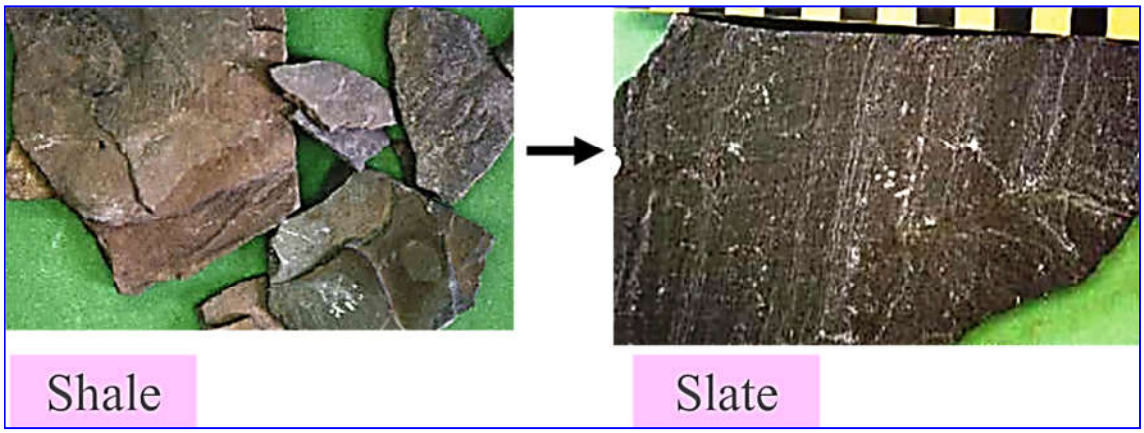
صفائح هذه الصخور أكثر سمكا وواضحة بالعين وهو صخر متحول متبلور وبلوراته دقيقة ويمكن فصل صفائحه لوجود معدن المايكا وتنشأ هذه الصخور من التحول الحراري وهي على أنواع مثل تالك-شست، كرافيت-شست، مايكا-شست .

د-صخور النايس (Gneiss)

تتميز هذه الصخور بوجود مواد معدنية تملأ الشقوق حيث تشكل أشرطة في جسم الصخرة وهذه الصخرة كاملة التبلور تركيبها مماثل للجرانيت (كوارتز- فلدسبار- مايكا) ولكنها منتظمة الصفوف.

2- الصخور المتحولة غير الصفائحية (Non-foliated Metamorphic)

هذه الصخور لا تحتوي على صفائح وحبيباتها لا تنتظم باتجاه واحد مثل صخور الكوارتزايت والرخام (المرمر-Marble) فالكوارتيزايت يتكون من حبيبات الكوارتز المتماسكة وعندما ينكسر قد ينكسر عبر حبيباته الناتجة من تحول الصخور الرسوبية الرملية وتأثرت بالحرارة والضغط. أما الرخام فيتكون من تحول صخور حجر الكلس (limestone) ويتأثر بالحرارة والضغط.

ملاحظة: مثال:

تتحول صخرة الطفل (Shale) الرسوبية إلى صخرة الإردواز Slate المتحولة بدرجة تحول واطئة وإذا تعرض الإردواز إلى درجة تحول متوسطة تتحول الصخرة إلى شست واذا تعرض إلى درجة تحول عالية تتحول صخرة الشست إلى صخرة النايس. ومنه نستطيع ان نقول ان مجاميع الصخور الأم تنتج صخورا متحولة اعتمادا على درجة التحول(صخور عديدة).