جامعة اليمن
كلية العلوم
قسم الجيولوجيا

100
18

السنة الأولى

مركز العلوم للخدمات الجامعية

سكشن

كلية

العلوم

الفصل

الثاني

للعام

الدراسي

2017

2018

جيولوجيا فيزيائية (2)

نظري

المحاضرة التاسعة الأخيرة

د. سعيد أبو هيم

مركز العلوم للخدمات الجامعية

٢-٢- التحوّل

يقصد بالتحول تغيير واعادة تشكل الصخور الاولية (الاندفاعية والرسوبية والمتحولة) المتشكلة سابقا تحت تأثير مختلف العمليات الجيولوجية الداخلية الناتجة عن تغيير الظروف الترموديناميكية وخصوصا الحرارة والضغط . وتؤدي هذه العمليات الى تغيير في الشروط الفيزيائية والكيميائية المحيطة بالصخور مما يجعل هذه الصخور تسعى لان تتكيف مع الشروط الترموديناميكية الجديدة . ان هذه التغيرات في الشروط الفيزيائية والكيميائية لاتسبب انصهار الصخور الاولية الا في حالات نادرا وخصوصا عندما تكون هذه الصخور على أعماق كبيرة تحت سطح الارض بل تحدث التحولات الداخلية في هذه الصخور وهي بالحالة الصلبة .

وتتغير الخصائص البنيوية والنسيجية للصخور عند التحول من جرّاء اعادة التبلور وتشكيل فلزات جديدة لم تكن موجودة سابقا في الصخور تترافق مع بعض الفلزات الموجودة أصلا في هذه الصخور وفي بعض الحالات يتغير التركيب الكيميائي للصخور. ان درجة تغير الصخور الاولية أو بمعنى آخر درجة تحول هذه الصخور يمكن أن تكون بسيطة حيث تحدث تغيرات طفيفة في التركيب الكيميائي للصخور الاولية أو تكون كبيرة يحدث فيها تغيير كلي لتركيب وشكل الصخور الاولية .

ان وضع تعريف للتحول أكثر دقة مما ذكرنا أعلاه يعتبر أكثر صعوبة ، اذ أننا نحتاج الى عوامل مميزة بين العمليات التحولية من جهة وكل من العمليات الرسوبية والمهلية من جهة أخرى. فالعمليات الرسوبية تتضمن أيضا تغيرات واضحة في المواد الاصلية مثل الملاط واعادة التبلور وازالة الماء وتبادل الايونات وذلك تحت تأثير عمليات الدياجنيز، وهنا يجب الاشارة الى أن هذه التغيرات التي تصيب الصخور الرسوبية تتم في شروط حرارة منخفضة وأعماق ضحلة بالمقارنة مع الحرارة العالية والاعماق الكبيرة التي تحتاجها عمليات التحول . كذلك تختلف التفاعلات التحولية عن العمليات المهلية بأنها تفاعلات بالحالة الصلبة . فالتحول لايتضمن انصهارا فعليا ماعدا في شروط الحرارة العالية وهذا يبدو واضحا من خلال الحفاظ على البنية الاولية في الصخور المتحولة ، فالالواح الحجرية تظهر التطبق الاصلي للغضار الصفحي ، كما يظهر الرخام أحيانا بعض المستحاثات المميزة .

وقد تشكلت معظم فلزات الصخور المتحولة بسبب ارتفاع درجة الحرارة وليس بسبب انخفاضها ، لان انخفاضها سيؤدي حتما الى انخفاض نسبة التفاعلات والى انقاص نسبة وجود الماء وغاز ثاني أوكسيد الكربون اللذين يلعبان دورا هاما في عمليات التحول .

٢-٢-١- عوامل التحول :

يرتبط تحول الصخور بمجموعة من العوامل الاساسية من أهمها الحرارة ، الضغط والمحاليل المائية .

آـ درجة الحرارة :

تلعب درجة الحرارة دورا رئيسيا في عمليات التحول ، وهي تؤدي الى تغيير كبير في التركيب الفلزي حيث تقود الى اختفاء بعض الفلزات وظهور فلزات جديدة ، كما أنها تؤدي الى تسريع التفاعلات الكيميائية وقد تبين أنه بزيادة درجة الحرارة نحو/١٠/ درجات مئوية تزداد سرعة التفاعل بمقدار الضعف ، أما عندما تزداد درجة الحرارة بمقدار ١٠٠ درجة مئوية فان سرعة التفاعل تزداد بمقدار ١٠٠٠ مرة ، وتأتي زيادة درجة الحرارة بشكل أساسي من مصدرين أساسيين :

١ـ طمر الصخور على أعماق كبيرة يؤدي الى زيادة درجة الحرارة وذلك بفعل التدرج الحراري حيث تزداد درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية واحدة كل ٣٣ متر وهذا المعدل قد يزيد أو ينقص كثيرا بحيث تنخفض الى معدل درجة واحدة لكل ١٠٠ متر أو تزيد بمعدل درجة واحدة لكل عدة أمتار وذلك في النطاقات الحارة غير العادية .

٢ـ نتيجة اندساس المهل ضمن اصخور القشرة الارضية : فاذا كان مصدر درجة الحرارة هو المهل فان حرارة الصخور المجتاحة تتناقص تدريجيا مع الابتعاد عن المهل يضاف الى ذلك التبرد التدريجي للمهل نفسه ويمكننا أن نكون فكرة عن درجات الحرارة التي ارتفعت اليها الصخور الموطنية نتيجة تماسها بالمهل وذلك اعتمادا

على وجود فلزات معينة . فمثلا وجود فلز الفولاستونيت الناتج عن تحول الكالسيت يدل على أن درجة الحرارة لم تتجاوز ١١٠٠ درجة مئوية :

$$CaCO_3 + SiO_2 \rightleftharpoons CaSiO_2 + CO_2$$

الفولاستوبنت

أما وجود فلز الاندالوزيت الناتج عن تحول الكاولينيت فيدل على أن الحرارة لم تتجاوز ١٠٠٠ درجة مئوية اذ أن ارتفاعها الى على من ذلك سيؤدي الى تشكل فلز المولليت عوضا عنه :

$$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8 \rightleftharpoons 2Al_2O(SiO_4) + 2SiO_2 + 4H_2O$$

الكاولينيت — الاندالوزيت

كذلك فان وجود فلز الاندراديت يدل على أن الحرارة اللازمة لتشكله لم تتعدى ٨٠٠ درجة مئوية .

أما بالنسبة للشروط الفعلية أثناء التحول فتتحدد الدرجة العليا اللازمة للتحول بالنقطة التي يصبح فيها الانصهار سائدا ، وقد أظهرت الاعمال التجريبية أن المجال الحراري للانصهار يعتمد على تركيب المادة الصخرية والضغط وأيضا على طبيعة وتركيز السوائل المصاحبة ، وقد تبين أنها تبلغ بالنسبة لاكثر أنواع الصخور حوالي ٨٥٠ درجة مئوية . أما بالنسبة للدرجة الدنيا فمن الصعب وضع حد لها . فمثلا تحول الكاولينيت الى مسكوفيت يحدث في درجات مختلفة من الحرارة وذلك حسب الحموضة فقد تتغير درجة الحرارة من ٣٥٠ الى ٢٠٠ درجة مئوية .

ب ـ الضغط :

وهو من العوامل الهامة التي لها دور أساسي في عمليات تحول الصخور ويعزى الضغط بشكل أساسي الى ثقل الطبقات الصخرية في منطقة التحول . وبشكل عام يميز بين نوعين رئيسيين من الضغط :

ـ الضغط العام :

ويعتبر تابعا للعمق حيث تتعلق زيادته بمدى طمر الصخورفي أعماق الليتوسفير. وتقدر العلاقة بين العمق والضغط كما يلي : ان زيادة العمق بمقدار /٣/ كم يؤدي الى زيادة الضغط بمقدار /١٠٠/ ميكاباسكال . واذا اعتبرنا أن أكثر عمليات التحول شدة تتطور على أعماق تتراوح بين ١٠ و ٥٠ كم نلاحظ بأن الضغط العام في مثل هذه الظروف يجب أن يتراوح بين ٤٠٠ و ١٥٠٠ ميكاباسكال . وتسبب زيادة الضغط العام تغير حجم الصخور وتشكيل فلزات ذات كثافة عالية ودرجة انصهار مرتفعة ووزن نوعي كبير. كما يساعد الضغط العام عادة على تشكيل صخور ذات نسيج متجانس . وهذا الضغط يعتبر متساويا في جميع الجهات .

ـ الضغط الموجه :

وينشأ عند الحركات التكتونية الشديدة التي لها طابع انزياحي . وهو تقود الى تخريب الفلزات واظهار قانونيه لتوزعها في الصخور. فالفلزات الصفائحية تتوضع بحيث تتجه سطوح الانفصام بشكل عمودي على اتجاه الضغط لتشكل مايعرف بالنسيج الصفائحي

للصخور. وفي بعض الحالات تؤدي هذه الحركات الى تحطيم الصخور وتفتيتها و بالتالي تتشكل الشقوق والفوالق التي تتغلغل عبرها المياه مما يزيد مقدرة هذه المياه على حل الاملاح المعدنية بشكل كبير .

ويظهر هذا النوع من الضغط بشكل كبير في النطاقات العليا من القشرة الارضية حيث أن سماكة الرسوبات المتوضعة فوق الصخور ليست بكبيرة . ومع العمق يزداد دور الضغط العام ويقل بالمقابل دور الضغط الموجه .

وأخيرا يجب الاشارة الى أنه عند تقدير الحرارة والضغط في عمليات التحول يجب الاخذ بعين الاعتبار بأن ذلك يعتمد بشكل كبير على كمية وطبيعة السوائل التي قد زالت نهائيا وبذلك يمكننا أن نستنتج بأن الارقام لشروط التحول لصخر ما يمكن أن تعطى بدقة $\pm$ ١٠٠ درجة مئوية و $\pm$ ١٠٠٠ ضغط جوي .

جـ ـ المحاليل المائية الحرارية :

وهي عبارة عن مياه جوفية ذات منشأ عميق تكون مشبعة بمختلف الاملاح المعدنية والمركبات الكيميائية الطيارة مثل : HCl ، HF ، CO_2 ، H_2S ، B وغيرها .

وتعتبر المهل المصدر المباشر أوغير المباشر لهذه المحاليل . فأثناء عمليات التبلور المتدرج والتفاضل التي تخضع لها المهل تنشأ هذه المحاليل المائية التي تغادر مكان التجمع المهلي وهي بطور سائل أو أنها تنشأ نتيجة تكاثف المواد الغازية

المنبثقة عن المهل .

وتتمتع المحاليل المائية بأهمية كبيرة في عمليات تحول الصخور وتشكيل فلزات جديدة وذلك من خلال اشتراكها في كثير من التفاعلات الكيميائية المعقدة مع الصخور وذلك بمساعدة الحرارة والضغط العاليين. فمثلا يمكن أن ينشأ الطلق من فساد البيروكسين بوجود غاز ثاني أوكسيد الكربون وفق التفاعل التالي :

$$MgSiO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2Mg_3Si_4O_{12} + MgCO_3$$

البيروكسين — الطلق

وهنا يجب الاشارة الى أن بعض التحولات تجري كما ذكرنا أعلاه بالحالة الصلبة، الا أن هذه التفاعلات تكون عادة بطيئة وخاصة تفاعلات السيليكات الصلبة الجافة. كذلك فان عمليات التحول تزداد بسرعة بوجود السوائل حتى أنه يمكن اعتمادا على بعض التفاعلات تحديد طبيعة وكمية السوائل المتواجدة وكذلك تحديد نوعية الفلزات المتحولة التي تتشكل أثناء التحول .

ويقل دور المحاليل المائية في عمليات التحول مع العمق وذلك بسبب تناقص النفوذية مع الاعماق وبالتالي تصبح المساحات ضعيفة جدا (غير فعّالة) لاتسمح للسوائل بالمرور عبرها .

وأخيرا هناك دور أساسي عند التحول ينسب الى عامل الزمن مادامت عمليات التحول هي عمليات طويلة تتحقق بمقاييس الزمن الجيولوجي . الا أنه من الخطأ التفكير بأنه كلما كانت الصخور أقدم كلما كانت أشد تأثرا بالتحول . لان هذا يتعلق بشكل أساسي

بالوضع الجيولوجي . فالطاقة الداخلية الموجودة داخل القشرة الارضية نتيجة تطور عمليات الحادثة المهلية، والتقوس الكبير للقشرة الارضية المترافقة بتوضع سماكات رسوبية كبيرة، وكذلك التشوهات التمزقية والتجعدية وغيرها تولد العوامل الرئيسية لحدوث التحول والتي تعود الى الاجزاء المتحركة من القشرة الارضية (مناطق الجيوسنكلينال). لهذا السبب فانه من الواضح ارتباط التحول الكبير بهذه المناطق . أما في المناطق الجيولوجية الهادئة كمناطق البلات فورم فان عمليات التحول تكاد تغيب حتى بالنسبة لاقدم الصخور .

٢-٢-٢- أنواع التحول :

ان عمليات التحول هي عمليات معقدة ومتنوعة وغالبا ما تكون مرتبطة بتأثير جميع عوامل التحول. الا أنه حسب العامل المسيطر وحسب مقياس امتداد عملية التحول تميز عدة أنواع للتحول أهمها :

آ- التحول التماسي :

ويظهر في مناطق التماس أو على الحد الفاصل بين وسطين أحدهما يمثل الماغما المندسة ضمن طبقات القشرة الارضية والاخر هو الصخور المحيطة بها. فعلى الحدود بين الماغما والصخور تنشأ عمليات فيزيائية - كيميائية معقدة تقود الى استعاضة تماسية من جهة والى تغيرات حرارية للفلزات من جهة أخرى . وتتعلق شدة هذه العمليات بشكل كبير بنوعية الماغما والصخور المحيطة وأكبر

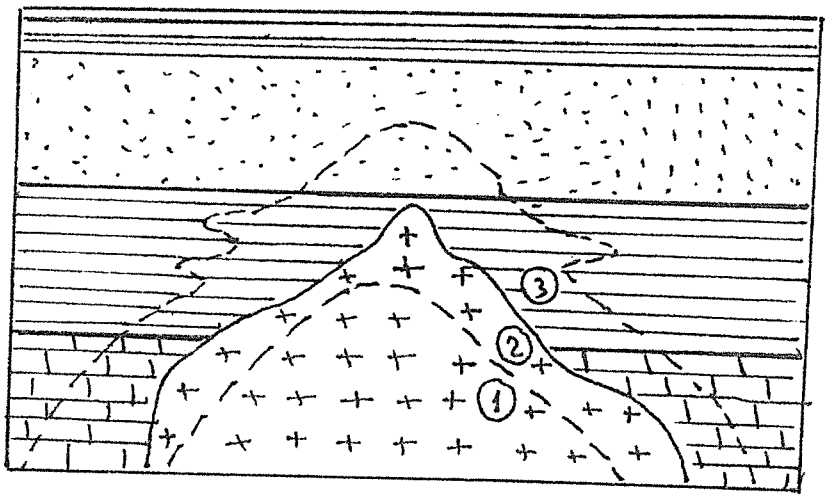
التأثيرات تظهر في حالة مهل (ماغما) حامضية وصخوركربوناتية .

وتتشكل بالقرب من سطوح التماس هالة تعرف بهالة التحول التماسي التي يمكن أن يتغير عرضها من عدة سنتيمترات وحتى بضع مئات من الامتار وقد يبلغ عدة كيلومترات ، وهذا يتعلق بحجم وتركيب الاجسام المندسة وأعمال توضعها والخصائص الفيزيائية- الكيميائية للصخور المجتاحة وأعماق.

فعندما يخترق مهل دسيسي طبقات القشرة الارضية يحدث فيها نوعين من التأثيرات .

١- تأثيرات داخلية المنشأ وتحصل على أطراف الجسم المغماتي نفسه وهي تؤدي الى تغيرات في البنية والنسيج والى حد كبير في التركيب الفلزي كما تتشكل هنا فلزات التورمالين والبريل والغرينا .

٢- تأثيرات خارجية المنشأ وتحصل عادة بالصخور المحيطة بالمهل وهي تتمثل في عملية طبخ هذه الصخور واعادة تصلبها أو تحدث تحولات كبيرة في تراكيب الفلزات الاصلية لهذه الصخور وذلك نتيجة تفكك أيوناتها واعادة ارتباطها من جديد مما يؤدي الى تشكيل فلزات ثابتة تحت الشروط الحرارية الجديدة . وهذه الهالة أعرض بكثير من الهالة الداخلية حيث يتراوح عرضها من عدة مئات من الامتار ، وحتى / ٢ - ٥ / كم وأحيانا أكثر . شكل (٢-١٠) .



شكل (٢-١٠)

١- غرانيت

٢- غرانيت متحول (منطقة التحول الداخلية)

٣- منطقة تحول الصخور الرسوبية (منطقة التحول الخارجية)

ان تأثير الماغما على الصخور المحيطة يختلف باختلاف التركيب الكيميائي للماغما نفسها . فاذا كانت الماغما حامضية فانها تحتوي على نسبة أكبر من الغازات والابخرة وبالتالي يكون تأثيرها على الصخور المجاورة أكبر من الماغما الاساسية . كذلك فان تأثير الماغما على الصخور المحيطة يختلف باختلاف شكل وعمق توضعها . فالماغما المتوضعة في الاعماق تؤثر على الصخور المحيطة أكثر من الماغما القريبة من السطح وذلك بسبب التبرد السريع للماغما عند اقترابها من السطح مما يؤدي الى ضياع سريع للمواد المنبعثة منها وهي العامل الرئيسي في الاستعاضة التماسية .كما وجد أنه عندما تكون جوانب الماغما المندسة تنحدر بلطف فانها تعطي نطاقات استعاضة أوسع من تلك التي تعطيها دسيسات تنحدر جوانبها بشدة .

وأخيرا فان الحرارة التي تعتبر العامل المسيطر في هذا النوع من التحول ، تؤدي الى تحول بسيط في بنية الصخور وظهور بعض الفلزات الجديدة ولكن دون أن يتغير التركيب الكيميائي العام لهذه الصخور . فالصخور الكلسية تتحول الى رخام والرملية الى كوارتزيت .

ب ـ التحول الديناميكي : Dynamic metamorphism

يظهر هذا النوع من التحول في النطاقات العليا من القشرة الارضية وخصوصا في مناطق تطور الحركات التكتونية ذات الطابع الانزياحي اذ يحصل هذا التحول على طول خطوط الكسور والازاحة الناتجة عن الفوالق .

ان العامل المسيطر هنا هو الضغط بصورة رئيسية ، أما التأثير الحراري أو الكيميائي فيكاد أن يكون معدوما . ويسبب هذا النوع من التحول تغيير الخصائص البنيوية والنسيجية للصخور وتظهر في النهاية الشيستوية حيث يصبح الصخر مؤلفا من صفائح رقيقة (وريقات) منضدة فوق بعضها البعض ويحدث بشكل أقل تغيير في التركيب الفلزي . كذلك أيضا وتحت تأثير ضغوط الكتل المتوضعة في الاعلى تبدأ الصخور المتطبقة بالانفصال (التمزق) في اتجاه معامد للضغط، كما أن حبات الفلزات تتطاول ويتغير نتيجة ذلك نسيج الصخور. وهناك بعض الفلزات التي تعتبر فلزات نموذجية لهذا النوع من التحول من أهمها الطلق والكلوريت والسيريسيت .

واذا كان الضغط الذي تتعرض له الصخور شديدا فانها تتحطم

وتتفتت ويتشكل في النهاية مايسمى بالبريشا التكتونية .

جـ - التحول البنوماتوليتي - الهيدروترمالي :

العامل المسيطر في هذا النوع من التحول هو الغازات والابخرة التي تنفصل عن الماغما أثناء تأثيرها على الصخور وهي تقود الى تغيير ليس في التركيب الفلزي (المينيرالوجي) للصخور وحسب وانما أيضا الى تغيير في التركيب الكيميائي لهذه الصخور .

وتوءثر هذه الغازات والمحاليل على الصخور بشكل منفصل أو مجتمعة مع بعضها البعض . ويسمى فعل الغازات الحارة على الصخور، بالفعل البنوماتوليتي . فعندما تنتشر الغازات المنفصلة عن الماغما عبر مساحات وشقوق الصخور تدخل في تفاعل متبادل مع العناصر الكيميائية الفعالة أو تحل هذه العناصر . فمثلا في الغرانيت وتحت تأثير هذه الغازات يتحلل الصفاح القلوي الى كوارتز وميكا ويتشكل بنفس الوقت فلزات البيريت والارسينوبيريت والموليبدنيت والفولغراميت والتوباز ويتحول نتيجة ذلك الغرانيت الى صخور كوارتزية - صفاحية فاتحة اللون أكثر من الغرانيت تسمى بالفريزن .

وبمقدار تبرد هذه الغازات تتحول الابخرة المائية المشبعة الى محاليل هيدروترمالية محدثة بذلك تحولا في الصخور يسمى بالتحول الهيدروترمالي ومثال على هذا التحول هو تحول الصخور الفوق أساسية الى سربنتينيت اذ يتحول فلزا الاوليفين والبيروكسين الى فلز جديد هو السربنتين وأيضا تحول الدولوميت الى الطلق

حسب المعادلة التالية :

$$3(Ca,Mg)(CO_3)_2 + 4SiO_2 + H_2O \rightleftharpoons Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 + 3CaCO_3 + 3CO_2$$

الدولوميت — الطلق — الكالسيت

د- التحول الاقليمي : Regional metanorphism

ويعتبر هذا النوع من التحول من أكثر أنواع التحول انتشارا وأهمية وهو يحتل مساحات واسعة من القشرة الارضية ، أو قد يحتل أقاليم بالكامل . وينشأ هذا التحول نتيجة الفعل المشترك لعوامل التحول على الصخور بمختلف تشكيلاتها الاندفاعية ، والرسوبية وحتى المتحولة . وهو يظهر في ظروف تعرض بعض أجزاء القشرة الارضية الى طمر طويل متزايد نتيجة انتقال الصخور من النطاقات العليا للقشرة الارضية الى نطاقات أعمق ، وبالتالي فان أكثر الظروف ملائمة لهذا التحول هي الاجزاء التكتونية المتحركة من القشرة الارضية وخصوصا في مناطق الجيوسينكلينالات مختلفة الاعمار. وتتصف الفلزات التي تتشكل تحت تأثير هذا النوع من التحول بصفتين أساسيتين هما : الكثافة العالية والمقاومة الكبيرة للحرارة .

ان درجة تغير الصخور في حالة التحول الاقليمي تقع في علاقة مباشرة مع درجة تغير الظروف الترموديناميكية للوسط . وكمؤشر أساسي لتغير هذه الظروف يأخذ الكثير من العلماء مدلول العمق عن

السطح باعتباره يحدد الضغط والحرارة واعتمادا على ذلك نميز ثلاث مناطق لهذا التحول مرتبة من الاعلى الى الاسفل وتتصف بدرجات تحول مختلفة جدول (٢-١) وهي :

نوع الصخور	المنطقة	اسم الصخر		
الرسوبية	التجوية	الرمال	الغضار	الحجر الكلسي
	الالتحام	الحجر الرملي	الارغليت	حجر كلسي نصف مبلور
النارية	العليا	الحجر الرملي الكوارتزي	الفيليت	مرمر ذو حبات صغيرة
	الوسطى	الكوارتزيت	الميكاشيست	مرمر ذو حبات متوسطة
	الدنيا	كوارتز معاد تبلوره	الغنايس	مرمر ذو حبات كبيرة

جدول (٢-١) يظهر تغير الصخور حسب مناطق تشكلها

١- المنطقة العليا : Epi Zone

وتتصف هذه المنطقة بدرجات حرارة منخفضة نسبيا وضغط جانبي وموجه منخفض نسبيا أيضا ، يؤدي في أغلب الاحيان الى تشكل

البريشا التكتونية وبالتالي تمثل هذه المنطقة بداية التحول للتشكيلات الصخرية الواقعة تحت التوضعات السمكية والثقيلة . فالصخور في هذه المنطقة يحصل لها اعادة تبلور وتغيير في تركيبها الفلزي، ولكنها في أغلب الاحيان تحتفظ بشكلها الاولي كتحول الرمال الى أحجار رملية كوارتزية ، فالتحول هنا يكون ناتجا عن اعادة تبلور الاسمنت السيليسي ولم يصل للحبات الحطامية المكونة للحجر الرملي جدول (٢-١) .

٢- المنطقة الوسطى : Mese Zone

يكون التحول في هذه المنطقة قريبا من التام . الحرارة في هذه المنطقة مرتفعة والضغط جانبي وهيدروستاتيكي مرتفع . وتحدث في مثل هذه الظروف اعادة تبلور بالكامل وتتخذ الصخور نسيجا شيستويا وتتشكل أيضا فلزات جديدة . فمثلا الكالسيت يتحد مع الكوارتز ويعطي فلز الفولاستونيت . وأهم الصخور المميزة لهذه المنطقة الكوارتزيت والمرمر والغنايس .

٣- المنطقة الداخلية : Kata Zone

وتمتاز هذه المنطقة بالحرارة المرتفعة جدا وكذلك الضغط العام المرتفع حيث ينعدم هنا الضغط الجانبي تقريبا ويكون التحول في هذه المنطقة تاما وشديدا بحيث يصبح من الصعب التعرف على التركيب الاصلي للصخور الامهات التي خضعت للتحول وأكثر الصخور تمثيلا لهذا النوع من التحول هو صخر الايكلوجيت الذي يتألف من فلزات الاوليفين والبيروكسين والغارنت .

هـ – مافوق التحول : Ultra metamorphism

وهو أعلى درجات التحول ويتم في النطاقات العميقة جدا من القشرة الارضية وينسب الى هذا النوع من التحول عمليات الباليغنيز ، الاناتكسيس ، المغمتة والفرنتة .

ويقصد بالباليغنيز اعادة انصهار الصخور المغماتية الاولية (المندسة والمخترجة) وتحويلها الى غرانيتات ، أما الانصهار الكامل الذي يقود الى تشكل الماغما فيسمى بالاناتكسيس .

أما الفرنتة فيقصد بها اعادة تشكل التركيب الكيميائي والفلزي للصخور المتحولة ، وفي النهاية تشكيل فلزات وبنيات مشابهة لتلك التي تلاحظ عند الغرانيت .

وتصادف توضعات الغرانيت ذات المنشأ التحولي ضمن تشكيلات الغنايس العائدة الى ماقبل الكامبري وكذلك الصفاح المتبلور الذي يشكل نوى الجبال الحديثة .

٢–٢–٣– دور عمليات التحول في تشكيل مكامن الخامات المفيدة :

اضافة الى دور عمليات التحول في اعادة تشكل الصخور فانها تؤثر أيضا على شكل وظروف توضع الخامات المفيدة وعلى تركيبها وخواصها البنيوية والنسيجية .

فتحت تأثير عمليات التحول يتغير التركيب الفلزي والكيميائي للخامات الفلزية وخواصها الفيزيائية ، فمثلا مكان الاكاسيد المائية

تتشكل أكاسيد لامائية فالليمونيت يستبدل بالهيماتيت والمغناتيت والبوكسيت بالكورونـدوم. وتسمى مكامن الخامات المفيدة التي يتعلق تشكلها بعمليات التحول بالمكامن التحولية وهي تقسم الى نوعين أساسيين حسب طبيعة تأثير العمليات التحولية :

النوع الاول وينشأ بفعل تأثير عمليات التحول على توضعات سابقة التشكل وفي هذه الحالة فان التغيرات التي تتعرض لها هذه التوضعات تصيب البنية النسيجية بالدرجة الاولى . فمثلا الهيماتيت يصبح صفائحي البنية وحرشفي المظهر ويدعى بالسبيكولاريت Specularite اضافة لذلك تؤدي عمليات التحول الى اغناء هذه التوضعات وزيادة نسبة احتوائها على المعادن المفيدة. فمكامن الحديد والمنغنيز تزداد فيها نسبة المعادن المفيدة بفضل تشكل أكاسيد جديدة واضافة للماء .

أما النوع الثاني من التوضعات فينشأ نتيجة تأثير عمليات التحول على الصخور مما يؤدي الى تشكل توضعات فلزية لامعدنية مفيدة وخاصة بفعل عمليات التحول الاقليمي . أما مواد المصدر لهذه التوضعات فهي فلزات الصخور التي تخضع الى اعادة التبلور أواعادة الارتباط ونادرا مايحصل هنا اضافة للماء أو ثاني أوكسيد الكربون . وأهم التوضعات اللامعدنية الناجمة عن هذا التحول هي توضعات الاسبستوس والغرافيت والتالك ومجموعة السيليمانيت والفرنيا .

========