

محاضرة مقدمة في علم الجيولوجيا 1

لمحة عن الصخور النارية والمتحولة

موجز مقتضب للمبتدئين من جميع الاختصاصات

الجزء 1: الصخور النارية

تنتج الصخور النارية 'Magmatite' من تبريد و تصلب الصهارات السيليكاتية (الماغما) المتكونة في عباءة الأرض أو في القشرة الأرضية و التي تنفذ الى سطح الأرض أو التي تبقى و تتبرد في القشرة الأرضية دون أن تتابع صعودها الى الطبقة السطحية. تبني الماغما النافذة الى السطح أو الى الطبقات القريبة منه الصخور البركانية (Vulkanite) ، في حين تبقى الماغما الغير قادرة على النفاذ عالقة في القشرة الأرضية و تشكل الصخور النارية الجوفية (البلوتونية). تكون الصخور البركانية حبيبية ناعمة جداً و زجاجية ، بينما تمتلك الصخور البلوتونية نسيج خشن عديم الاتجاه في أغلب الأحيان.

لفهم أفضل للعمليات الماغمية (الانصهارية) نقوم ببساطة بدراسة تكون الماغما و التبلور كل على حدا تبعاً لمنشأهما (تكون الصهارة)

(a) في عباءة الأرض (الماغما المافية)

(b) في قشرة الأرض (الماغما الفلسية)

1.1 تكون الماغما في عباءة الارض

تتكون العباءة العلوية بمعظمها من صخور البريدوتيت، وهي صخور فوق مافية تحتوي على المعادن التالية:

الأوليفين (الغني بالفورستريت ، مثل FO_{90}) بنسبة % 70 تقريباً

الأورثوبيروكسينات (معظمها انستاتيت) بنسبة % 20 تقريباً

الكليנוبيروكسينات (غنية بالديوبسيد) بنسبة % 5-9 تقريباً

و الجارنت (بمعظمه بيروب) بنسبة % 2-5 تقريباً

يطلق على هنا على الصهارة (الماغما) الناتجة تسمية "المافية"، أو التسمية "القلوية" وهي تسمية خاطئة ولكنها مستخدمة الى يومنا هذا في المراجع.

تتعلق درجة حرارة تصلب البريدوتيت بالضغط و درجة الحرارة ، حيث يمكن الوصل اليها إما عن طريق انخفاض ايزوترمي (تقريباً) للضغط أو عن طريق إمداد H_2O أو/ و CO_2 عند ضغط ثابت و حرارة متزايدة.

انخفاض الضغط الايزوترمي هو الإجراء الأكثر شيوعاً في الحيويد المحيطية ؛ وهي مناطق التكون المستمر للماغما المترافقة مع توسع عبااءات الأرض الواقعة تحتها. هنا تتولد 15 حتى 30% صهارة جزئية عند ضغوط تتراوح بين 15 الى 30 كيلوبار و درجة حرارة حوالي $1400^{\circ}C$ وهي صهارة قادرة على النفاذ و تقوم بتشكيل القشرة المحيطية تحت الحيويد. تعرف صخور الطبقة السطحية للقشرة المحيطية باسم بازلت حيويد الوسط المحيطية Mid-ocean ridge basalt اختصاراً MORB و هي مجموعة المعادن التالية: البلاجيوجلاز، الأورثوبيروكسينات، الكلينوبيروكسينات، الإلمينيت إضافة الى الأوليفين أو الكوارتز.

يجري إمداد المكونات السائلة (H_2O, CO_2) ؛ تحت شروط اختزال صارمة CH_4 على نطاق واسع تحت حدود الصفائح المتقاربة من خلال اندساس (تهدم) النطاقات الصخرية المحيطية. حيث يؤدي تحولها من الشست الأخضر الى الأمفيبوليت و من ثم الى إكلوجيت الى طرح كمية من المياه تؤدي الى تشكيل أمفيبول و فلوغوبيت إضافيين في البريدوتيت. كما يُسهّل إمداد كميات قليلة من الماء (على سبيل المثال، 0.4 وزن %). من تشكيل صهارة جزئية عند درجات حرارة تتراوح بين 1000 و $1200^{\circ}C$. ينشأ بازلت غني بالألمنيوم و انديسايت قادرة على النفاذ الى السطح.

إجمالاً يمكن التمييز بين أربعة مجموعات أساسية للصهارة أو الصخور البركانية:

- ثوليت مع المعادن التالية : البلاجيوجلاز، الأورثوبيروكسينات، الكلينوبيروكسينات، الماجنتيت (+الأوليفين).
- البازلت القلوي مع : البلاجيوجلاز، الكلينوبيروكسينات، الأوليفين، الماجنتيت، وبشكل نادر الأمفيبول.
- بازانيت مع : البلاجيوجلاز، الكلينوبيروكسينات، الأوليفين، الماجنتيت، و بعض النفلين.
- بازلت غني بالألمنيوم/ انديسايت مع : البلاجيوجلاز، الأورثوبيروكسينات، الكلينوبيروكسينات، الهورنبلند، الماجنتيت.

الماغما (الصهارة) المافية غالباً ما تصل الى سطح الأرض أو القشرة المحيطية. في حالات نادرة تبقى هذه الصهارة عالقة في القشرة الأرضية و تتبلور هناك مشكلة الصخور الجوفية و هي صخور ذات حبيبات خشنة تحمل اسم الغابرو أو الديوريت.

1.2 تكون الماغما في قشرة الأرض

يمكن أن ينتج ارتفاع درجة حرارة القشرة الأرضية من خلال سلسلة من العمليات، من ضمنها اقتحام الصهارة المافية للقشرة السفلى. يؤدي الارتفاع الموضعي لدرجة الحرارة في القشرة الأرضية الى بلوغ درجة حرارة التصلب للصخور الموجودة في تلك المواضع، هنا يدور الحديث عما يعرف بالصخور المتحولة مثل النيس والأمفيبوليت. يحتوي الأخير الى جانب البلاجيوغلاز على الفلسبار القلوي و الميكا أو الهورنبلند إضافة الى كميات متفاوتة من الكوارتز. تبلغ درجة حرارة التصلب لهذه ' المادة الأم ' على الأقل 630°C و ذلك في حالة النيس و فقط عند توافر كمية كافية من الماء. الأمفيبوليت يتطلب درجات حرارة تصل الى 850°C ليصل الى درجة التصلب. يطلق على الصهارة التي تنشأ في القشرة الأرضية وعلى صخورها صفة "فلسي" . في المراجع مازلت تسمية الصخور الحمضية منتشرة و هي تسمية خاطئة.

تتشكل الصهارة الجرانيتية من المادة الأم النيس (الذي يتألف من الكوارتز، الفلسبار القلوي ، البلاجيوغلاز، المسكوفيت، البيوتيت); بينما تنتج صهارة التوناليت من المادة الأم الأمفيبوليت (الذي يتألف من البلاجيوغلاز، الهورنبلند، و معادن أخرى مثل الكوارتز، الفلسبار القلوي أو البيوتيت). في كلا الحالتين يتم الوصول الى كميات صهارة جزئية بنسبة انصهار تتراوح بين % 10-40 . تحتوي الأجسام الصلبة المتبقية في القشرة العميقة المعروفة باسم ('Restite') على نسبة أقل من الماء مقارنة بالمادة الأم. يمكن للصهارة أن تتجمع بأحجام ماغما كبيرة تغادر مكان نشأتها في القشرة العميقة و تنتقل الى المناطق السطحية للقشرة.

يبقى القسم الأكبر لهذا النوع من الصهارة الفلسية (الجرانيتية ، التوناليت) عالقاً في القشرة الأرضية السطحية ويشكل أجساماً (صخور) منصهرة (ماغمية) دخيلة و تدعى هذه الصخور الغرانيت و التوناليت . في حال تمكنت الصهارة الجزئية من الوصول الى سطح الأرض ، وهي حالات نادرة جداً، و تصلبت هناك يحصل عندها تشكل الريوليت و الداسيت كصخور بركانية.

يمكن دراسة عملية تشكل الصهارة في القشرة العميقة من خلال دراسة المجماتيات المتجمدة الموجودة في الطبيعة و التي تكون أحياناً مكشوفة و متواجدة على الطبقة السطحية للأرض. هنا يحصل التشكل الجزئي للصهارة لكن بدون أن يتم الفصل بين الصهارة الجزئية و الرستيت بحيث يبقيان في كتلة صخرية واحدة. تحتوي مثل هذه المجماتيات على الرستيت كمكون داكن (الميلانينيات) وعلى أجزاء منصهرة جزئياً كمكونات ماغمية (leucosome). تعتبر هذه المجماتيات بمثابة مختبرات طبيعية لدراسة عملية تكون الصهارة في القشور العميقة.

1.3 تمايز الماغما

في حالة بقاء الصهارة المافية (البازلتية) وهي في طريقها عبر القشرة الأرضية عالقة في حرات صهارية و عدم تمكنها من النفاذ مباشرة الى الطبقة السطحية يمكن أن يطرأ عليها تبدلات نتيجة عملية التبلور المنتامية. تتبع هذه التمايزات في عملية التبلور المخطط التالي:

صهارة أم بازلتية قلوية ← لاتيت ← تراكيت ← تراكيت-قلوي

صهارة أم ثولييتية ← داسيت ← (رديوداسيت) ← ريوليت

صهارة أم بازانيتية ← تفريت ← فونوليت

في هذه الحالة تتبلور المعادن الداكنة أولاً الأوليفين، الأورثوبيروكسينات أو الكلنوبيروكسينات أو كلاهما ، الهورنبلند و البلاجيوجلاز الغني بالكالسيوم من الصهارة الأم و تستقر على أرضية أو جدران حرات الصهارة (فرق الكثافة ، صهارة المعدن: موجبة). من غير الممكن التمييز بين الصهارات الثلاث السابقة حيث تجري سلاسل التمايز الثلاث بشكل مستقل عن بعضها البعض.

1.4 علم وصف الصخور النارية (بتروغرافيا الصخور النارية)

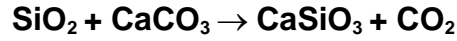
لا يعتمد علم وصف الصخور النارية (البتروغرافيا) على منشأ الصهارة من عباءة الأرض أو القشرة الأرضية إنما يعتمد على تصنيف أشكال التصلب الى جوفية (بلوتونية) أو بركانية. يتحدد التوصيف العالمي المشترك للصخور الجوفية و البركانية فيما يعرف بمخطط " **Streckeisen** ". في هذا المخطط لا تأخذ جميع معادن إحدى الصخور النارية بعين الاعتبار و إنما فقط المكونات الفاتحة وهي الكوارتز ، الفلسبار القلوي و البلاجيوغلاز (الجزء العلوي) إلى جانب الفلسبار القلوي ، البلاجيوغلاز و شبيهه الفلسبار **Foide** (الجزء السفلي) . التمثيل البياني لنسب هذه المعادن الفاتحة يكون عبارة عن مثلث مزدوج بحيث يتوضع كل من الكوارتز و أشباه الفلسبارات في القمة العلوية و السفلية . يستبعد كل من هذين المعدنين الآخر حيث لا يمكن لكلا المعدنين الضهور معاً في إحدى الصخور النارية (السبب $\text{SiO}_2 + \text{KAlSi}_2\text{O}_6 \rightarrow \text{KAlSi}_3\text{O}_8$). يشير هذا المخطط المزدوج الى جميع الصخور النارية الحاوية على قسم من المعادن الفاتحة بنسبة أعلى من حجم .-10%. تدعى الصخور الحاوية على معادن فاتحة بنسبة أقل من % 10 بالصخور الفوق مافية و يتم التعامل معها بتروغرافياً (من ناحية التوصيف) بشكل منفصل.

في المثلث المزدوج يكون البازلت والأنديزيت من ضمن الصخور البركانية الشائعة بصورة خاصة يليها التمايزات الداسيت و الريوليت إضافة الى اللاتيت و التراكيت و أخيراً يأتي الفونوليت. في حالة الصخور الجوفية يكون الأمر معكوساً حيث يكون الجرانيت و الجرانوديوريت إضافة الى التوناليت شائعاً بصورة خاصة، في حين يكون الجابرو، الديوريت والفوياييت إضافة الى السينيت أكثر ندرة.

الجزء 2: الصخور المتحولة

يطلق اسم التحول أو الاستحالة (metamorphosis) على التغيرات التي تطرأ على الصخور بتأثير تغيرات الضغط و درجة الحرارة . ترجع أسباب التحولات في داخل أحد الأجسام الصخرية و أسباب ارتفاع و انخفاض درجات الحرارة السائدة الى العمليات الجيولوجية و التي لن يتم التطرق اليها في هذا الجزء (كلمات مفتاحية : الاصطدام ،الاندساس).

يجري تحول الصخور (metamorphosis) عادة في في الحالة الصلبة . تفاعلات التحول تولد من المادة الأولية (المادة الأم) منتجاً هو (الصخر المتحول) ، في هذه الحالة تتغير نسب المعادن في الصخور كما يتغير تركيب سلسلة المحلول الجامد (البلورة المختلطة) ، يمكن توضيح ذلك من خلال المثال البسيط التالي: تحتوي الرواسب غالباً على الكوارتز و الكالسيت ، عند درجات الحرارة المرتفعة يتغير التركيب المعدني للصخر و فق تفاعل الاستحالة التالي:



يحتوي الصخر المتحول الناتج عن المادة الأولية " الحجر الرملي الأولي للكربونات " على معدن جديد هو الولاستونيت CaSiO_3 . يمكن للكوارتز و الكالسيت أن يتواجدا أيضاً في المنتج الجديد و لكن ذلك مرهون بتواجد الكوارتز و الكالسيت الغير مستهلكة في الفائض (تبعاً لأمثال التكافؤ للتفاعل الكيميائي السابق).

يمكن من خلال تقسيم المواد الأولية الى مجموعات مختلفة القاء نظرة أكثر شمولية على مدى انتشار ووفرة الصخور المتحولة و أماكن ظهورها ، سنتعامل هنا مع المواد الأولية التالية:

(a) البازلت والأنديزيت

(b) الصخور الرسوبية ناعمة الحبيبات

(c) الصخور فوق مافية (فوق قاعدية)

يطلق على الصخور المتحولة أسماء جديدة و ذلك تبعاً لطبيعة التحول ، إما تحول تقدمي (عند زيادة الضغط و درجة الحرارة) أو تحول تقهقري (عند انخفاض الضغط و درجة الحرارة).

2.1 المواد الأولية (الأم) البازلتية

تحصل التحولات الأهم للصخور البازلتية خلال مرحلة تشكل أرضية المحيطات و غيرها من التقلبات التكتونية للقشرة المحيطية الحاصلة نتيجة للعمليات الصفحية التكتونية.

في البداية يحصل تبريد للصخور البازلتية المتواجدة على امتداد حيوود منتصف المحيط من درجات حرارة تقارب 1200°C وذلك نتيجة تماسها مع مياه البحر. في هذه الحالة تنفذ مياه البحر عبر الشقوق الى المواضع البازلتية و تؤدي الى تفاعلات تنشأ خلالها معادن من جديد تمتلك مجموعات OH^- في بنيتها البلورية.

الصخر: البازلت ← سبيليت (الشست الأخضر)

(المعادن (Cpx, Opx, Plag, Ol) ← ابيدوت ، كلوريت ، اكتينوليت ، ألبيت)

في حالة التحول هذه على أرضية المحيطات يحصل امتصاص للماء من المنتج و ذلك على النقيض من عمليات التحول الشائعة الأخرى.

مع استمرار التباعد لمراكز الانتشار ('spreading center') تتخفف درجات حرارة التفاعل. في النهاية يحصل، نتيجة تدافع الصفائح ، تقارب للقشرة المحيطية الناتجة عن الاستحلال (السبيليت) من حواف الصفائح المتهدمة و تجري هناك عملية اندساس للصفائح أو ما يعرف بنطاق الطرح أو التهدم. تشير العملية السابقة الى اندساس الغلاف الصخري المحيطي في عباءة الأرض ، خلال هذه العملية يطرأ على الوحدات الصخرية المتداخلة (المندسة) تغيرات في الضغط و درجة الحرارة وينشأ بشكل متتابع من القشرة المحيطية الناتجة عن الاستحلال في البداية الأمفيبوليت و مع زيادة العمق ينشأ الاكلوجيت:

الصخر: سبيليت (الشست الأخضر) ← الأمفيبوليت

(المعادن: ابيدوت ، كلوريت ، أمفيولات ، ألبيت ← أمفيبول ، بلاجيوجلاز ، سبينل....)

الصخر: الأمفيبوليت ← الاكلوجيت

(المعادن: أمفيبول ، بلاجيوجلاز ، سبينل ← كلينوبيروكسينات، جازنت، الكوارتز)

خلال الانتقال من مرحلة الشست الأخضر الى مرحلة الأمفيبوليت ، و من مرحلة الأمفيبوليت الى مرحلة الالكوجيت يحصل طرح للماء الناتج عن انحلال المعادن الحاوية على OH- و الذي يمرر بدوره الى البريدوتيت المتوضع فوق الالكوجيت مما يؤدي الى بدء تشكل جزئي للصهارة في طبقة البريدوتيت.

2.2 الصخور الرسوبية ناعمة الحبيبات (الطينيات)

يطلق على النواتج ناعمة الحبيبات الحاصلة نتيجة عمليات التعرية التي تتعرض لها القارات و المتركرة في المناطق البحرية اسم الطينيات و التي يمكن أيضاً أن تغوص الى أعماق كبيرة حيث ترتفع درجات الحرارة و الضغط. في البداية يتم خلال مرحلة النشأة المتأخرة (التغير اللاحق) طرد قسم كبير من مياه المسامات و الذي لا يؤدي بدوره الى ظهور معادن جديدة بكميات تذكر. يمكن التعبير عن مرحلة الانتقال من شروط النشأة المتأخرة الى شروط التحول التابعة لعملية الترسيب بالتفاعلات التالية:

الصخر: الطينيات (الحجر الطيني) ← صخر الاردواز

(المعادن : الكوارتز، الفلسبار، الكاولينيت، الكالسيت ← كما سبق: إضافة الى الإليت)

و

الصخر: الطينيات (الحجر الطيني) ← صخر الاردواز

(المعادن : الكوارتز، الفلسبار، الكاولينيت، الكالسيت ← كما سبق: إضافة الى البيروفيليت)

ووفقاً لهذه التفاعلات نحصل من الأحجار الطينية على صخر الاردواز ضعيف التحول (المعادن الداخلة في التفاعلات تم تحديدها بخطوط أسفل منها). البيروفيليت عبارة عن سيليكات ثلاثية الطبقات و يمتلك

الصيغة التالية $Al_2[(OH)_2Si_4O_{10}]$.

باستمرار الغوص لأعماق أكبر و نتيجة التسخين الحاصل يتحول صخر الازدواز في البداية الى فيليليت و في مرحلة لاحقة الى شست الميكا وفق ما يلي :

الصخر: صخر الازدواز ← فيليليت

(المعادن : الكوارتز، الفلسبار، الإليت، الكلوريت ← الكوارتز، الفلسبار، الكلوريت ، موسكوفيت)

الصخر: فيليليت ← شست الميكا / صخر الناييس

(المعادن : الكوارتز، الفلسبار، الكلوريت ، موسكوفيت ← الكوارتز، الفلسبار، موسكوفيت/ بيوتيت، غارنت)

ينتج عن التحولات القصوى للطينيات صخور حبيبية ذات محتوى منخفض نسبياً من المعادن الحاوية على OH- (الميكا) . يطلق على الغرانوليت مصطلح ميكا-الطينيات من الدرجة العليا والذي يمتلك شروط تشكل تقع في مجال تكون الصهارة الجزئية أو بالقرب منه

الصخر : شست الميكا / صخر الناييس ← غرانوليت

(المعادن : الكوارتز، الفلسبار، موسكوفيت/ بيوتيت، غارنت ← الكوارتز، الفلسبار، غارنت، Al_2SiO_5)

معادن Al_2SiO_5 - هي السليمانيت، الاندلسيت والكيانيت و التي تنتمي الى مجموعة النيوزوسليكات. ماهية المعدن الذي سوف يتشكل من هذه المعادن يتعلق بالضغط و درجة الحرارة. عند درجات الحرارة العالية و الضغوط المتوسطة مثل ($700^{\circ}C, 8 \text{ kbar}$) يكون السليمانيت مستقراً ; في حين يكون الكيانيت مستقراً عند ضغوط عالية ودرجات حرارة منخفضة نسبياً ($10 \text{ kbar}, 600^{\circ}C$).

2.3 الصخور فوق المافية

تعرف الصخور الحاوية على كميات قليلة من المعادن المكونة الفاتحة اللون باسم الصخور الفوق مافية. تظهر غالباً على أعماق كبيرة و يمكن أن تنتقل باتجاه سطح الأرض نتيجة للعمليات التكتونية. يمكن توضيح ماسبق من خلال صخر البريدوتيت. يمكن لوحداث البريدوتيت أن تنتقل على طول مسار الصدع العميق (Deckentransport) من مكانها الأصلي في عباءة الأرض (عمق أكبر من 40 km ، 700°C ، 15 kbar) و ذلك وفق شروط ضغط و درجات حرارة منخفضة للقشرة الأرضية (عمق أقل من 30 km ، P<10 bar). هنا تنخفض درجات الحرارة ببطء مقارنة مع الضغط. عند الوصول للقشرة الأرضية يمكن للماء المنتشر هناك أن يتقارب مع أجسام البريدوتيت و بذلك يتولد منتج تفاعل مميّه. في البداية يظهر البريدوتيت المكون للتلك و مع استمرار عملية الإمهاء أو بحالة الإمهاء التامة يظهر السرينتينييت:

الصخر: البريدوتيت ← ميتا- بريدوتيت

(المعادن : الأوليفين ، الأورثوبيروكسينات ، الكلينوبيروكسينات ، جارنت/ سبييل ← كما سبق إضافة الى التلك).

و

الصخر : ميتا- بريدوتيت ← سرينتينييت

(المعادن : الأوليفين ، البيروكسين ، الجارنت ، التلك ← معادن-السرنتينين ، التلك ، تريموليت)

يحتوي البريدوتيت المميّه أيضاً على بقايا من المعادن الأصلية الأوليفين، الأورثو- و الكلينوبيروكسينات ، جارنت أو سبييل. غالباً ما تترافق عملية التحول الموصوفة أعلاه من البريدوتيت الى السرينتينييت مع امتصاص الماء بما يقارب من 10 Gew.-%.

2.4 علم وصف الصخور المتحولة (بتروغرافيا الصخور المتحولة)

للأسف لا يمكن توصيف الصخور المتحولة بشكل منهجي كما هو الحال مع الصخور النارية (راجع أعلاه مخطط Streckeise). في الحالة العامة يجب توصيف الصخور المتحولة تبعاً لظهور التخلق التجانبي الطاعي و من ثم تسمية المعدن المسيطر ، مثلاً " جارنت- ميكا الشست" ؛ " كوارتز- إكلوجيت " ؛ " تلك-سرينتتين" . و هذا ما يتطلب في العادة على أرض الواقع خبرة كبيرة و فحص مجهري دقيق للصخور. لكن يتواجد في المراجع و بشكل واسع تصنيف مفيد للصخور المتحولة وفق ما يعرف باسم " السحنات أو الهياكل المميزة " و التي تدل بشكل تقريبي على مجال الضغط و درجة الحرارة الخاصة بعملية التحول.

إضافة الى ظاهرة التطبع الفوقي (التحور) الناتجة عن غرق و تسخين الصخور الأم تظهر حالة تسخين الأجسام الصخرية بثبات الضغط (تسخين ايزوباري) من خلال تسلل الصهارة. حيث تقوم الصهارة بتمرير جزء من حرارتها الى الصخور المجاورة مما يؤدي الى ارتفاع موضعي لدرجات الحرارة ، تدعى هذه العملية بالتحول التماسي . يندرج ضمن سحنات (هياكل) التحول مايلي:

التحول التماسي : عند درجات حرارة تصل الى 1200°C و ضغوط منخفضة (غالباً أقل من 3 kbar)
(درجة حرارة عالية ، ضغط منخفض)

سحنة الشست الأخضر : عند درجات حرارة تصل تقريباً الى 500°C و ضغوط أقل من 5 kbar
(ضغط منخفض ، درجة حرارة متوسطة)

سحنة اللأمفيبوليت : عند درجات حرارة تتراوح بين 500°C الى 700°C ، و ضغوط من 5 kbar الى 10 kbar
(ضغط متوسط ، درجة حرارة متوسطة)

سحنة الجرانوليت : $5 \text{ kbar} >$ ، $700^{\circ}\text{C} >$ (ضغط متوسط ، درجة حرارة مرتفعة).

يمكن من السابق ملاحظة تداخل مجالات الضغط و درجة الحرارة لسحنات التحول المختلفة. يوجد في المراجع عدد كبير من التصنيفات للصخور المتحولة و التي تستند الى أنظمة لنشأة الصخور مبنية على التجارب. مجموعة من هذه المعلومات الأساسية يمكن ايجادها في كتاب :

OKRUSCH& MATTHES: Mineralogie (Springer-Verlag ISBN 3-540-23812-3)

و الذي تتوافر منه عدة نسخ في المعهد Institut für Endlagerforschung .