المجموعة الثالثة (في اجسام الصخور) In bodies of rocks

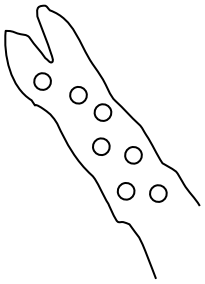
فقد قسمها لندكرن الى:

1. **خامات متزامنة المنشأ Syngenetic:** هي الخامات التي تعاصر تكون الصخور.
2. **خامات لاحقة المنشأ Epigenetic:** تتكون هذه الخامات بعد تكّون الصخور (لاحقة) أي أنها أحدث من الصخور المضيفة لها.

والمجموعة الأولى تتكون نتيجة وجود تراكيز المواد الموجودة ضمن هذه الصخور (أثناء تكونها) وقسمت هذه المجموعة الى:

a. By dynamic regional metamorphism

إن الخامات التي تتكون بهذه العملية صخورها تحتوي على بعض العناصر المفيدة، فأثناء عمليات التحول تتركز المواد المرنة الحركة (Volatile) التي تمتلك قابلية حركة عالية (Mobility of elements) لتتجمع ضمن الأجسام الصخرية المتحولة (أثناء التحول) على شكل جيوب معدنية.



Hg
Ag
Pb
Fe, Zn
Cu

b. By ground water of deeper circulation

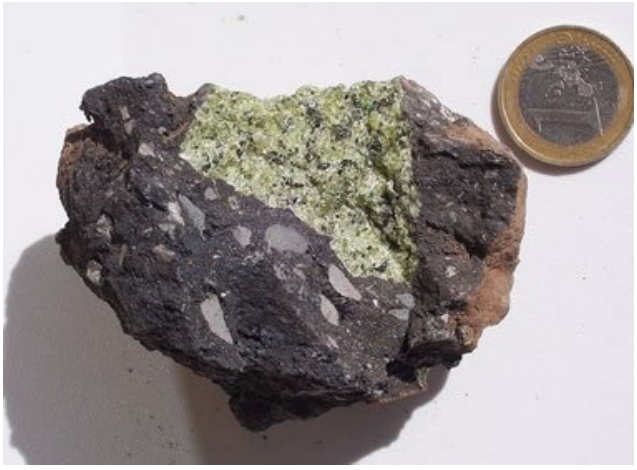
تتكون المعادن بهذه الطريقة عندما تتوغل المياه الجوفية الى الأعماق وتزداد درجة حرارتها وبالتالي قابليتها على إذابة المواد، فتصبح محاليل محملة بالخامات. هذه المياه الجوفية عند ارتفاعها إلى الأعلى ترسب بعض الخامات بسبب انخفاض درجة حراراتها. من الأمثلة عليها هي البحيرات المالحة (Brine pools) الغنية بفلزات الذهب والفضة والزنك والرصاص وغيرها.

c. By rock decay and residual weathering near surface

إن الصخور تختلف في قابلية مقاومتها لظروف التجوية الكيميائية والميكانيكية الشديدتين، فقسم منها يتفتت وتنتقل بوساطة عوامل النقل المختلفة، اما الجزء الآخرفيبقى ويكوّن مايسمى بخامات التجوية المتبقية.

من الأمثلة عليها صخور البيريدوتايت (Peridotite) الثقيلة ذات النسيج الخشن والتي تتكون بشكل رئيس من الأولفين (Olivine) والبايروكسين (Pyroxene)، بالإضافة الى احتوائها على نسبة قليلة من

معدن الكارنيرايت (Garnierite) الغني بالنيكل والذي يعتبر ثانوي (accessory) في هذه الصخور. في درجات التجوية العالية تتفتت صخور البيريدوتايت وتنتقل بعض مكوناته لكن معدن الكارنيرايت يقاوم عملية التجوية مما يؤدي الى تركيزه في هذه الصخور.

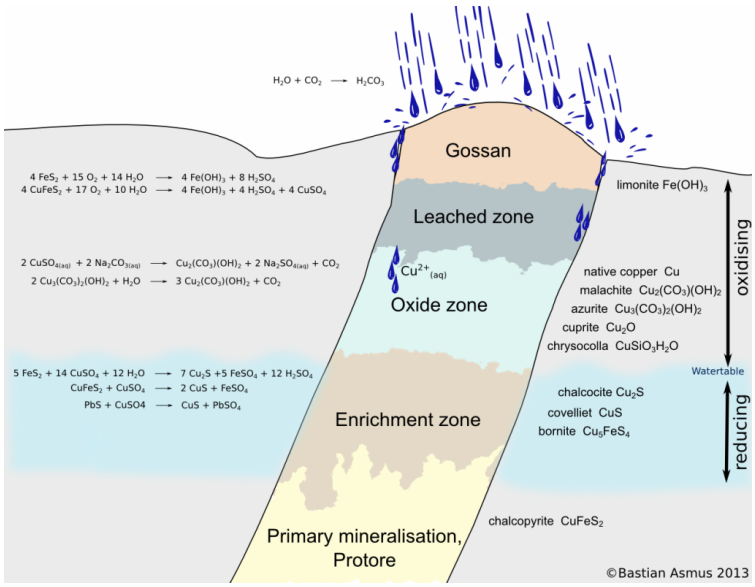


Garnierite $(Ni,Mg)_4Si_6O_{15}(OH)_2 \bullet 6(H_2O)$

MgO 5.37%
SiO_2 48.0%
NiO 29.84
H_2O 16.79

هناك بعض الخامات التي تتكون في الظروف السطحية وتسمى (**خامات الإغناء الكبريتيدية الثانوية**).

ففي الظروف السطحية، عند سقوط الأمطار على منطقة ترسبات تحتوي على عرق معدني غني بمعدن البايرايت (Pyrite) والجالكوبايرايت Chalcopyrite فإنها سوف تؤثر على هذا العرق نتيجة زيادة حامضيتها بسبب تذويبها لبعض الكبريتيدات. هذه المياه الحامضية تصبح لها القابلية على اذابة بعض الصخور او المعادن، فأثناء إنتقالها الى الأسفل تتفاعل مع الصخور/المعادن المحيطة بالعرق وحسب نوعها فتؤدي الى تركيز عناصر تلك المعادن داخل محاليلها. عندما تصل المحاليل الى المياه الجوفية تتحول الى محاليل متعادلة ثم الى الأسفل تتحول الى محاليل قاعدية وبالتالي ترسب الكثير من الفلزات القاعدية.



After Evans (1992) and Ottaway (1994).

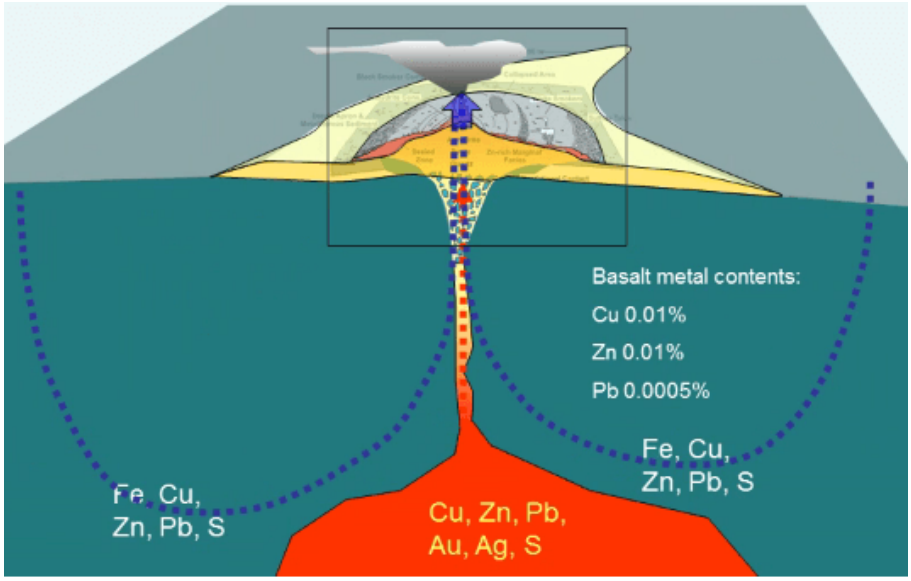
لذا نلاحظ أن المناطق العليا تتكون من طبقة من الحديد نتيجة عمليات الغسل (leaching) يطلق عليها بالكوزان Gossan، والمنطقة المغسولة تسمى (leached zone) والمنطقة فوق منطقة المياه الجوفية تشكل منطقة مؤكسدة، حيث تترسب بها اكاسيد وهيدروكسيدات النحاس مثل النحاس والمالاكايت والازورايت والكوبيرايت. اما عند مستوى المياه الجوفية (Water table) يصبح المحلول قاعدي والبيئة إختزالية والمنطقة تسمى منطقة إغناء حيث تترسب مجموعة من الكبريتيدات الفلزية الغنية بالنحاس والحديد مثل الجالكوسايت والكوفلايت والبرونايت. تليها منطقة تتكون عندها خام أولي Protore عني بمعدن الجالكوبايرايت.

أما **Epigenetic** فقد قسمت الى مجموعة ليس لها علاقة بالفعاليات النارية أي التي لا تعتمد في تكونها على انشطة الصخور النارية (origin independent on Igneous-activity) ومن الأمثل عليها الينابيع الحارة Thermal spring والابخرة الكبريتية Solfatar التي تكون حاملة لبعض الكبريتيدات الفلزية وتسخينها ليس مرتبط بالفعاليات النارية.

أما المجموعة الثانية (origin dependent on eruption on Igneous rocks)
وهي الخامات التي تعتمد في تكونها على الفعاليات النارية بشكل مباشر، وتقسم الى:

1. From extrusive bodies substitutions

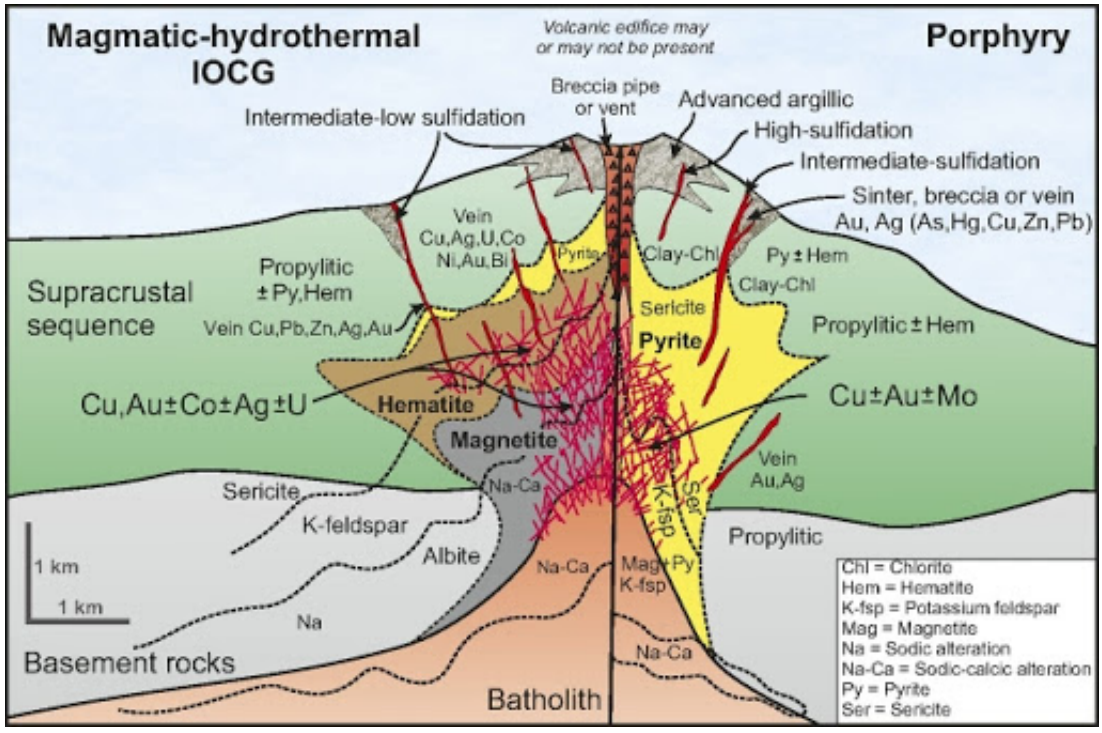
تلك الخامات التي تتكون نتيجة الأجسام النارية السطحية (البركانية). فالبراكين تحوي الكثير من الفلزات وأثناء إندفاع اللافا تترسب تلك الخامات.



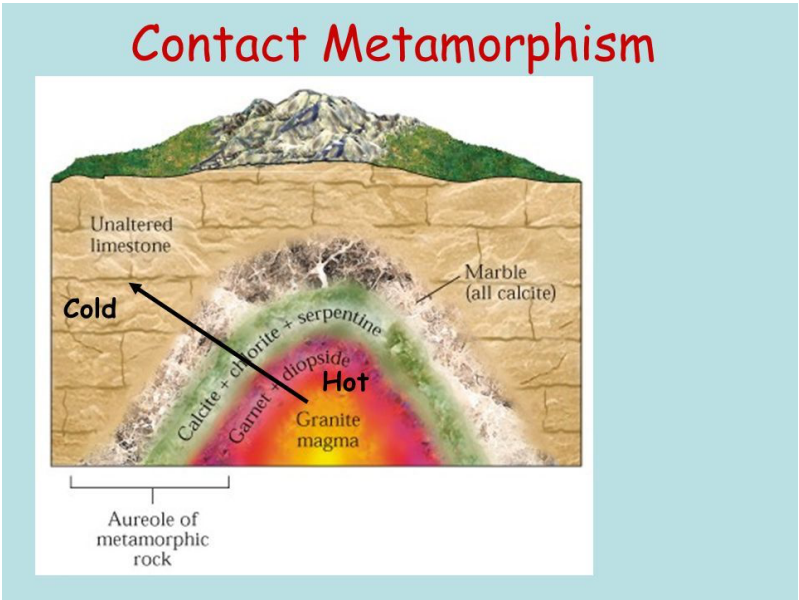
انتقال الفلزات من الحجرة الصهيرية الى القشرة الارضية عن طريق الانفجارات البركانية.

2. From intrusive bodies of igneous and metamorphic deposits

تتكون بعض الخامات نتيجة الصخور النارية المقحمة (المتداخلة). أثناء صعود الصهير تصبح الظروف مؤاتية لتحول بعض الصخور التي تخترقها فتتحول الصخور المجاورة للهصير. كذلك بعض المعادن يصبح لها نوع من التبادل الآيوني بينها في مناطق التماس وتتحول الى (igneous metamorphic bodies)



الصخور النارية الجوفية المقحمة (المتداخلة) الغنية بالعديد من العناصر الفلزية والتي تختلف درجة استقرار مكوناتها المعدنية حسب العمق ودرجة الحرارة والضغط.



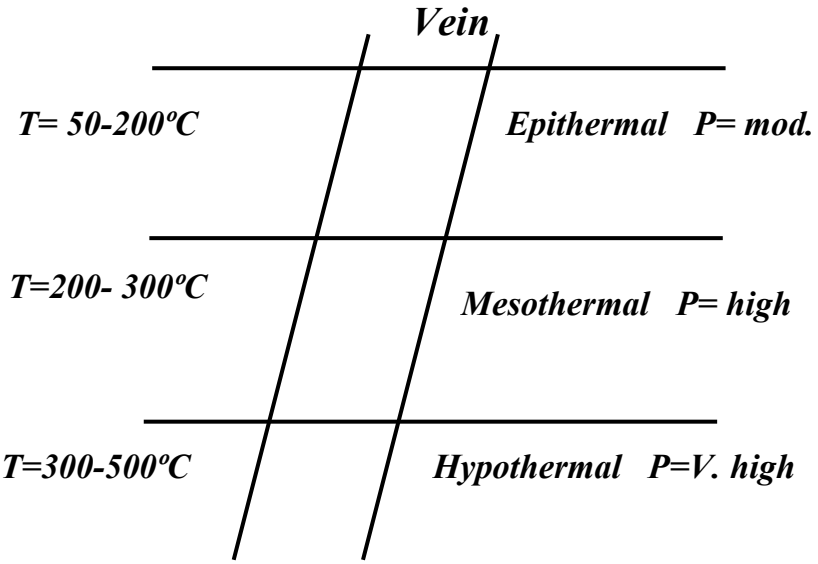
منطقة التماس بين الصهيرة الساخنة وصخور الحجر الجيري وتكون هالة التحول والتي تختلف في مكوناتها المعدنية حسب درجة الحرارة والضغط وحدوث التبادل الايوني بين العناصر.

أما المجموعة الأخيرة التي تعتمد على الفعاليات النارية

- (By hot ascending waters of unknown origin but changed with Ign. Emanation)

والتي تأتي من المياه الحارة وممكن أن نطلق عليها (hot solutions) او المحاليل الحرمائية فقد قسمها لندكرن إلى ثلاث أنواع مهمة:

1. **الترسبات الحرعميقة Hypothermal**: وهي تلك الترسبات او المعادن التي تتكون تحت ضغط كبير وعمق كبير وحرارة عالية. ومن الامثلة عليها معادن الكوارتز (quartz) والفلدسبار (Feldspar) والكاسترايت (cassiterite SnO_2) والشيلايت (scheelite $CaWO_4$) والتورمالين (Tourmaline)والتوباز (topaz $Al_2SiO_4(F,OH)_2$).



2. **الترسبات الحرمتوسطية Mesothermal**: تتكون معادن هذه الترسبات تحت عمق متوسط وضغط متوسط وحرارة تتراوح بين (200-300 °C). ومن معادن هذه المنطقة الجالكوبايرايت (chalcopyrite $CuFeS_2$)، الارسينوبايرايت (arsenopyrite FeAsS)، وبعض الأحيان السفلرايت (sphalerite ZnFeS)، والكالينا (galena PbS).

3. **الترسبات الحرضحلية Epithermal**: تتكون معادن هذه الترسبات تحت عمق ضحل، ضغط واطيء، وحرارة تتراوح ما بين (50-150 °C). من الأمثلة على المعادن المتكونة في هذه المنطقة هي الستبينايت (stbinite Sb_2S_3) السيلينايت (selenite SeO_3)، الأرجانايت (argentite Ag_2S) والماركاسايت (marcasite FeS_2) بالإضافة الى بعض معادن الكاربونايت الفلزية مثل كربونات الرصاص، الحديد.

الخامات أخرى التي أضيفت الى تصنيف لندكرن هي:

1. **الترسبات الحرنائية Telethermal**: تلك الخامات التي ترحل الى مسافات بعيدة جداً عن مصادرها وتخترق الكثير من الصخور بحيث أثناء إنتقالها تفقد معظم فعاليتها الكيميائية وتصل الى مرحلة تقل الطاقة فيها (مرحلة الإنتهاء) فتلاحظ قسم من المعادن ذات طاقة عالية مع معادن ذات طاقة واطئة (ظروف ضغط وحرارة مختلفتين)، مثلاً نشاهد معادن الجالكوبايرايت، الكالينا، السفلرايت مع معادن الماركسايت والسيلينايت. كذلك نلاحظ أن الكالينا في هذه المنطقة تختلف عن منطقة (Mesothermal) حيث نلاحظ أن نسبة الرصاص قليلة في هذه المنطقة، ونلاحظ كذلك نسبة الحديد في السفلرايت قليلة في هذه المنطقة.
2. **الترسبات الحرغريبة Xenothermal**: تلك الترسبات التي تتكون في درجات حرارة عالية ولكن في أعماق ضحلة (خامات إستثنائية)، قد تأتي هذه من بعض الخامات التي ترافق البراكين او من المحاليل العميقة التي تخترق الصخور وتصل الى أعماق ضحلة في وقت قصير، حيث يصبح هناك ظروف إستثنائية (بالضغط والحرارة) وكذلك العمق. فنلاحظ المعادن العميقة مع المعادن السطحية، فنلاحظ خليط من فلزات الذهب، الفضة، النحاس، التنكستن، الزرنيخ والأنتيمون...إلخ.