الموائع الحاملة للخامات
The ore bearing fluids

يمكن تقسيم الموائع الحاملة للخامات إلى ما يلي:

1. Magmatic fluids
2. Meteoric waters
3. Fluids associated with metamorphic processes

إن الموائع التي ترسب الخامات ممكن دراستها مباشرة خاصة تلك التي توجد قرب السطح، بينما المحاليل التي ترسب الخامات والتي مصدرها الأعماق لايمكن دراستها مباشرة. حيث إن المعلومات تكون قليلة عنها والأفكار تتعدد حول طريقة إنتقالها ومنشأها وأصلها وتكوينها، فهناك طرائق غير مباشرة لدراسة هذه المحاليل مثل دراسة البراكين أثناء الأنفجارات/ أو دراسة السوائل المحبوسة ضمن المعادن، حيث توجد هذه السوائل ضمن فجوات غالباً ماتكون منتظمة الشكل وحاوية على محاليل التي إما أن تكون سائلة أو غازية. ومن أهم المعادن المفيدة لهذه الدراسات هي المعادن الغثة مثل (Quartz (SiO_2), Flourite (CaF_2), Sphularite (ZnS)).

ان عملية تحليل الفجوات المملؤة بالمحاليل والتي تحتاج الى تقنيات حديثة وطرائق معقدة لفصل هذه المحاليل أو السوائل قد أدت الى اكتشاف نوعين من المحاليل هما:

1. Hydrous silicate melt
2. Watery solutions.

1. الصهير Magma

من المعروف ان الصهير عبارة عن مواد صخريه منصهرة تتحرك داخل الأرض ولها القابلية على النفاذ أو الوصول الى سطح الا رض على شكل براكين، ويحتوي الصهير على خليط من البلورات والسائل.

عندما تبرد تلك الماكما تبدأ بالتبلور (Crystallization) وتبدأ عملية التفاضل (Differentiation)، وعندما تتكون الصخور النارية من عملية التفاضل فان قسم من الخامات تتكون بهذه العملية حيث تتكون معادن ثانوية، وعندما يزداد تركيز تلك المعادن في هذه الصخور عن حد معين يتكون الخام. ان الصهير الغني بالحديد والمغنيسيوم يركز عناصر الكروم والنيكل والبلاتين وفي بعض الأحيان الفسفور، أما الصهير الغني بالسليكا فانه يركز الالمنيوم والقصدير والحديد بينما التيتانيوم يتواجد في كلا النوعين.

الممعدنات Mineralizers

هناك بعض العناصر التي تسمى Mineralizes وهي مواد تؤدي الى تكوين معادن وتسمى بالممعدنات، وعادة تكون نسبتها ضئيلة ولكنها ذات دور مهم وهي عبارة عن عناصر قليلة الوزن الذري وذات نصف قطر آيوني صغير. إن وجود هذه العناصر يساعد على تخفيض لزوجة الصهير وكذلك

تخفيض من درجة انجماد المعادن وايضاً تساعد على تكوين مركبات لايمكن أن تتكون في مائع جاف dry melt ومن صفاتها أن لها قابلية نفاذ كبيرة وهي صفة مهمة جدا في ظروف الاعماق.

ان الأنواع الأساسية من الممعدنات هو الماء الموجود في الصهير والذي له الدور الكبير في عملية نقل العديد من الخامات، علماً ان نسبة الماء في الصيهر تتراوح بين (1-3%).

ومن الممعدنات الأخرى هو الكبريت (Zn, CO_2, P, Be, F, Cl). وهذه الممعدنات تدخل في التركيب الكيميائي لبعض المعادن، فمثلا الماء يتواجد داخل تركيب بعض المعادن مثل المايكا ($KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)$) والمعادن الطينية ومعادن الزيولايت ($Na(AlSOP_6).H_2O$) والأمفيبول $Ca_2Mg_5Si_3O_2(OH)_2$ ويوجد البورون ضمن التورمالين (Si, Al, OH, B) والكلور يدخل في تركيب معادن Scapolite $(Na,Ca)(Al_3Si_9O_{24})Cl$.

هناك بض الممعدنات التي يدل وجودها على وجود بعض المعادن في السائل الأم مثل الكلور الذي يدل على المعادن الفيرومغنيسية، بينما يدل وجود الفلور والبورون على المعادن الغنية بالسليكا والألمنيوم.

وجد أنه بالاضافة الى الماء كممعدن مهم فان هناك مكونات اخرى اضافة الى المكونات التي ذكرت سابقا وهذه المكونات الجديدة هي CO_2 والاملاح المذابة والتي تكون اما على شكل كلوريدات او كبريتات او كاربونات الكالسيوم او البوتاسيوم او الصوديوم فضلا عن بعض المتضمنات او المكتنفات Inclusion والتي توجد بنسب قليلة.

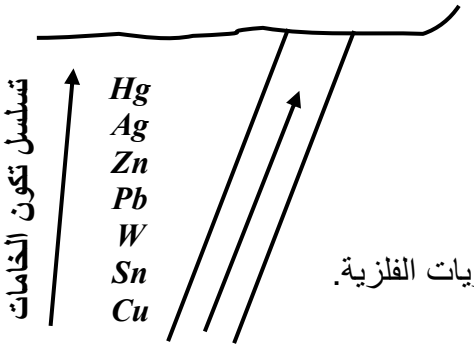
ان الاملاح المذابة تتركز فيها بعض العناصر المهمة اقتصاديا مثل المنغنيز والنحاس والتي يصل تركيزها في بعض الأحيان الى (100ppm).

تأتي أهمية الممعدنات باعتبارها تساعد في عملية انتقال المعادن، حيث جاء الاعتقاد بأنه يمكن ان تنتقل الخامات وخاصة الفلزية منها بطريقة أسهل على شكل أيونات موجبة أو سالبة مثل الكلوريدات أو الكبريتات المعقدة المذابة أو التي تكون على شكل بخار فلزي وهذه المواد المذابة عندما تترسب تكون خامات معدنية.

إعتقد Helgeson أن الكلوريدات المعقدة هي من العوامل المهمة في نقل وترسيب الفلزات، وبيّن أن هناك تسلسلاً أو تدرجاً في استقرارية الكلوريدات الفلزية وعلى الشكل التالي:

$$Cu \rightarrow Zn \rightarrow Pb \rightarrow Ag \rightarrow Hg$$

وهذا الترتيب يتوافق الى درجة كبيرة مع ما موجود في الطبيعة، لأن المحاليل التي تحمل مجموعة كبيرة من الفلزات وترسبها على شكل عروق لها القابلية على تكون نوع من الإنتظام في أنطقة توزيع المعادن. فمثلاً النحاس يتواجد في المناطق الأكثر عمقاً ويتوزع فيها الرصاص والزنك والقصدير والتنكستن والتي تتواجد في أعماق أخرى من المنطقة او العرق المعدني.



يعتقد الجيوكيميائيين أن المحاليل الأساسية المحملة بالخامات والغنية بالممعدنات تكون عادة في حالة حرجة من حيث الحرارة. حيث مع زيادة درجة الحرارة تكون الأيونات متراصة ومتقاربة من بعضها البعض الآخر، الغازات تتصرف وكأنها سوائل وهذه السوائل غنية المحتويات الفلزية.

المياه الجوية Meteoric water

تشمل على المياه التي لها علاقة بالغلاف الجوي كالامطار والندى والثلوج ومياه الأنهار والينابيع وكل المياه التي تتخلل الصخور والتي تعرف بالمياه المستحاثية (Fossil water) والمياه الهابطة والمياه الصاعدة. تقسم المياه الجوية الى الأقسام التالية:

1. المياه الأزلية (المستحاثية) Connate water

وهي مياه جوية موجودة في الصخور الرسوبية، حيث لا تترسب الصخور الرملية دون إحتوائها على جزء من الماء ويتم الإحتفاظ بهذه المياه لملايين السنين ولهذا تسمى بالمياه المستحاثية. تتميز هذه الأنواع من المياه بكونها غنية جداً بعناصر (Cl, Na) وتحتوي على كميات وفيرة من الايونات Ca^{+2}, Mg^{+2} (CO_3^{-2}) وممكن أن تحتوي على مركبات من عناصر (Sr, Ba, Na).

2. المياه المنجمية Mine water

من المعروف أن المياه الجوفية تقل بإزدياد العمق، ولهذا السبب فإن كثيراً من المناجم العميقة تكون جافة ولكن البعض منها تحتوي على مياه ممكن دراستها.

تشير الدراسات المتعلقة بمياه المناجم أن أصلها هو من المياه الجوية وليس لها علاقة بترسيب الخامات ماعدا المناجم الموجودة في المناطق النشطة بركانياً، حيث وجد أن مياه هذه المناجم هي مياه صهيرية خففت بمياه سطحية عند إقترابها من سطح الأرض، كما أثبتت هذه الدراسات أن مياه هذه المناجم غنية بكبريتات الصوديوم والكالسيوم.

3. الينابيع الحارة Thermal spring

توجد المياه الحارة على سطح الأرض على شكل أبخرة كبريتية Solfatar أو على شكل ينابيع حارة، وتحتوي هذه المياه على تراكيز عالية من الفلزات والأملاح حيث تحتوي على عناصر (Na, Ca, Cl) المذابة.

إن مثل هذه المياه ممكن أن يكون ذو أصل صهيري، أو مياه حبيسة، أو مياه مخففة متبخرة أو مياه جوية. ومن صفاتها هو أن نسبة الفلزات المذابة فيها الى نسبة الكبريتيد عالية جداً، الأمر الذي يشير الى

أن هذه الفلزات ممكن أن تكون قد أنتقلت على شكل كلوريدات فلزية كما أن كثافة هذه المياه أعلى من المياه القريبة من السطح.

إن المياه الموجودة في المناطق النشطة بركانياً تمتاز بكونها غنية بكلوريد الصوديوم وهذه المياه تتحول بالتدريج الى مياه كلوريدية- كبريتيدية حامضية.

يعتقد الباحثين أن محاليل كلوريد الصوديوم لها علاقة بالمحاليل الصهيرية، أما بقية المكونات فإنها أذيبت في هذه المياه بفعل تفاعلها مع الصخور التي تمر بها.

هنالك من الينابيع الحارة التي ليس لها علاقة بالنشاطات البركانية مطلقاً، حيث تمثل هذه الينابيع مياه سطحية حملت في مستودعات (خزانات) عميقة Deep aquifers وسخنت بحرارة الأرض الداخلية.

4. الموائع المترافقة مع عمليات التحول Fluids associated with metamorphic process

إن المياه الجوية والمستحاثية المحصورة في الصخور قد تتحرك تحت تأثير الضغط والحرارة المرافقين للإندفاعات النارية والتحولات الأقليمية وتسمى هذه الموائع بالموائع المتحولة (Metamorphic fluids) وتعتبر في كثير من الأحيان موائع نشطة وحاملة للفلزات.

إن الإعتقاد السائد بأن التحولات الأقليمية تساعد على بعثرة المكونات الفلزية والطيارة وليس على تركيزها هو خاطئ.