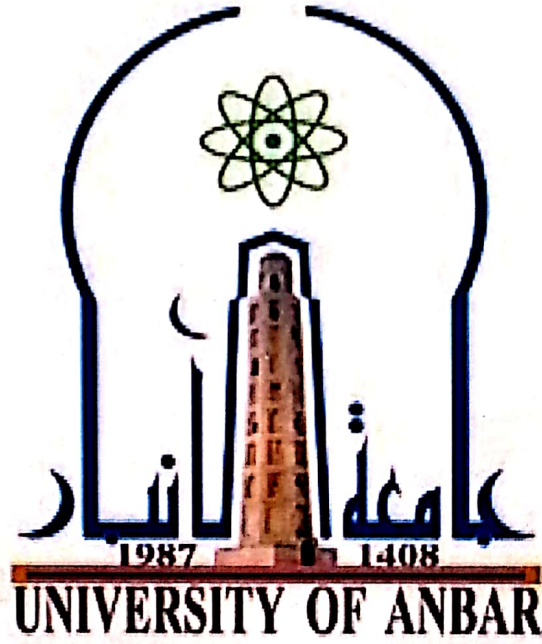


جامعة الانبار
كلية العلوم
قسم الجيولوجيا التطبيقية



مادة الجيوكيمياء الاستكشافية / نظري
المرحلة الرابعة / الفصل الثاني

اعداد الاستاذ فلاح حسن
2016

الاستكشاف الجيوكيميائي (Geochemical Exploration)

ان مصطلح استكشاف الجيوكيميائي Geochemical Exploration والتحري الجيوكيميائي Geochemical prospecting هو عبارة عن استخدام علم الجيوكيمياء في البحث والتنقيب عن تواجد ترسبات الخام وبالرغم من ان التحري والاستكشاف يمثلان مرحلتين متعاقبتين من مراحل الكشف والتقييم المستمر وتحديد الابعاد الافقية والعمودية لتجمع الخام وقد قسمت باستثماره واستخراج المواد الخام وهذا يتمثل بالاعمال المنجمية Mining وان الاستكشاف الجيوكيميائي يعتبر احد فروع علم الجيوكيمياء ويتضمن التطبيقات العملية للقواعد النظرية للجيوكيمياء لغرض الاستكشاف المعدني ويهدف الى ايجاد مواقع جديدة لرواسب فلزية او اللافلزية او تجمعات للنفط الخام او تحديد امتدادات جديدة للترسبات الحاملة للخامات المعدنية ويتم من خلال استخدام الطرق الكيمياوية المتمثلة بالقياسات النظامية لتعين تراكيز واحد او اكثر من العناصر او المركبات الكيمياوية التي تتواجد عادة بتراكيز قليلة والتي يمكن الحصول عليها بسهولة مثل الصخور ورواسب اليرافد والمياه والنباتات والهواء وفتاتات متلجة

اهمية الاستكشاف الجيوكيميائي

ان للاستكشاف الجيوكيميائي اهمية بالغة بالبحث عن الرواسب المعدنية الفلزية واللافلزية من ناحية والنفط والغاز من ناحية اخرى ويقسم الى فرعين رئيسيين الاول يهتم هذا الفرع بالرواسب المعدنية اللاعضوية بينما يتحكم الثاني بالرواسب العضوية ان هذا التقسيم لايعني اختلافهما في الاسس والاساليب ولكن اختلافهما ينحصر في نوع العناصر والمركبات الكيمياوية التي يتطلب قياس تراكيزها وكذلك اجهزة التحليل الكيمياوية المستعملة وطبيعة النماذج الملائمة لاغراض عمليات الاستكشاف الجيوكيميائي وهناك جهود علمية تستخدم طرق الاستكشاف الجيوكيميائي في البحث عن المصادر الصعبة الهيدروكاربونية وغير الهيدروكاربونية حيث قامت عدد من شركات النفط الكبيرة بتخصيص بعض من جهودها في البحث عن المصادر الطبيعية الغير هيدروكاربونية

طرق الاستكشاف الجيوكيميائي واعمال التحري المعدني

لقد كانت اعمال التحري المعدني تنجز من خلال تركيز اهتمام المستكشفين والجيولوجيين على مكامن الصخور والمظاهر المعدنية ذات العلاقة مثل تواجد المعادن الثقيلة في رواسب اليرافد وخصوصا في المناطق المعروفة من احزمة التمعدن في العالم وادى هذا الى اكتشاف عدد من الاجسام الخام التي يمكن ملاحظة تواجد الكثير منها بالعين المجردة وينطبق هذا على بعض الحقول النفطية والرواسب المعدنية الواضحة للعيان قد تم اكتشافها وتحديدها مثل ان 90% من

مناجم الفلزات الحالية في المكسيك هي نتيجة لتطوير المناجم التي وجدها سكان الاسبان الاصليين ان المباديء الاساسية للاستكشاف الجيوكيميائي موجودة ومتعارف عليها منذ القدم وبالتحديد منذ الاستخدام الاول للفلزات من قبل الانسان وحسب استطلاع المعنيون الاوائل من ملاحظة امتياز محيط الرواسب المعدنية لخواص معينة اهمها

1- تواجد فئات صغيرة من صخور المعدن الخام والتي يمكن مشاهدتها في رواسب الرافد التي تتخلل منطقة تواجد الخام وباقتفاء اثر زيادة تواجد هذه الفئات غالبا مايؤدي الى صخور المصدر

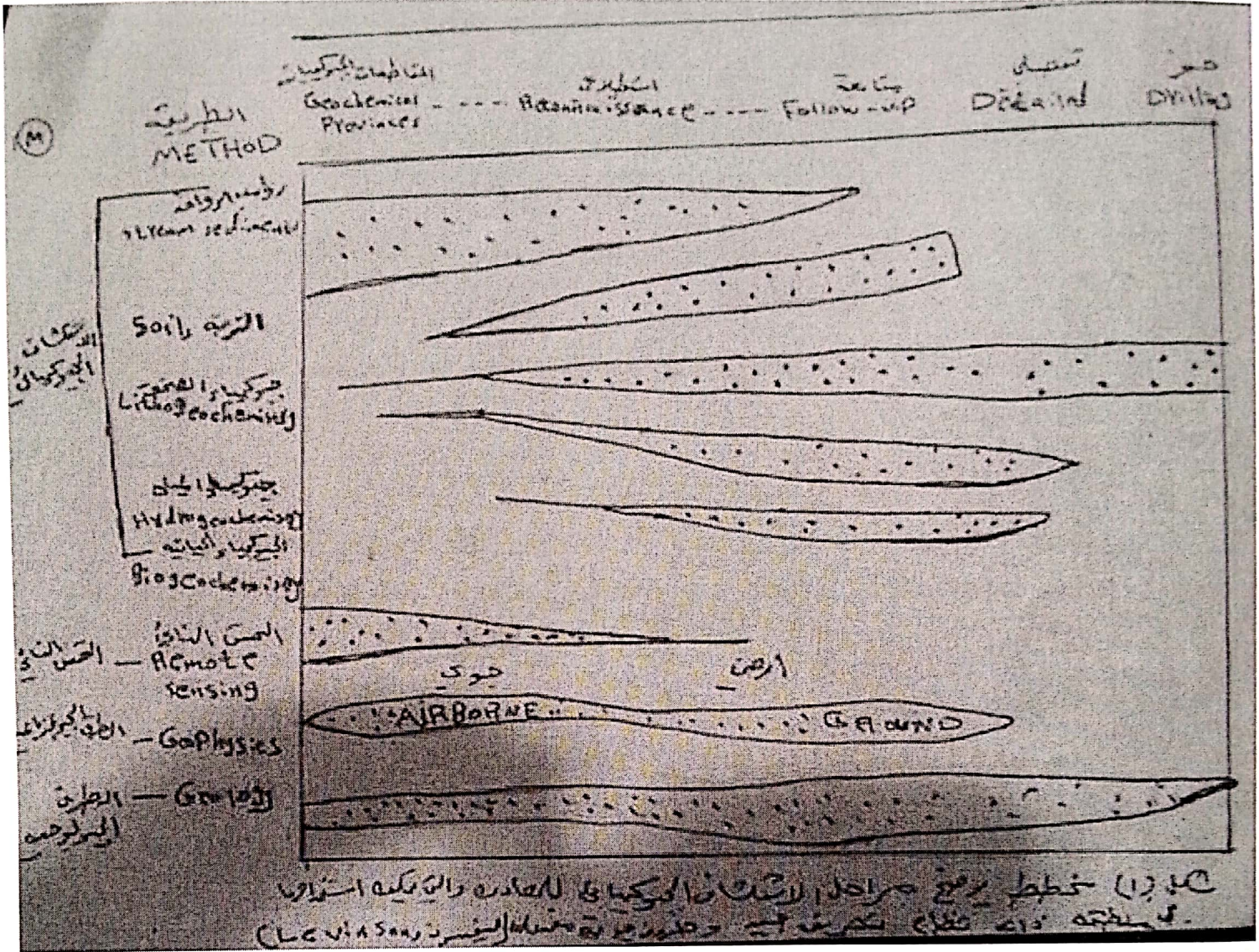
2- تواجد فئات صخور المعدن الخام (الحديثة والمتغيرة) على السطح وبالقرب من صخور المصدر

بالرغم من اعتماد هذه الملاحظات على ما يمكن مشاهدته بالعين المجردة الا انها تمثل صيغة من صيغ الانتشار والتي تماثل تلك التي تستخدم الطرق للاستكشاف الجيوكيميائي قد تخفى الرواسب الخام الواطئة التركيز Low grade باهتمام اكبر من السابق وذلك بسبب الاقتراب من نهاية استثمار مواقع الرواسب الخام العالية التركيز High Grade والحاجة المتزايدة لانتاج مواد الخامات المعدنية المختلفة فمثلا من قبل 25 سنة لايمكن اعتبار رواسب خامات النحاس ذات جدوى اقتصادية الا اذا احتوى نسبة 1.5 % من النحاس مقارنة ب 0.4 % نحاس لرواسب خامات النحاس المقبولة حاليا كحد ادنى لمعدل تراكيها عند تقييم جدواها

تعتبر الاعمال الاستكشافية عن الرواسب الخام ذات الجودة الواطئة بالاعتماد على الملاحظات المرئية صعبة جدا وهنا يكمن دور الاستكشاف الجيوكيميائي بسبب كونه طريقة مباشرة بالاضافة الى الخواص العلمية والاقتصادية ويتضمن التعرف على العنصر الخام المكون للمعادن الخام او مجموعة من العناصر المتصاحبة تمس تراكيز عالية نسبيا من هذه العناصر والتي تمثل الشواذ الجيوكيميائية geochemical anomalies وبالرغم من اهمية طرق الاستكشاف الجيوفيزيائي والجيولوجي في هذا المجال الا انها تختلف عن الاستكشاف الجيوكيميائي كونها طرق غير مباشرة ويجب التاكيد لايمكن الاعتماد على الاستكشاف الجيوكيميائي لوحده في مشاريع التحري المعدني وحيث نضطر ننظم في بعض مراحل الاستكشاف المعدني الطرق الجيوفيزيائية والجيولوجية الى جانب الطريقة الجيوكيميائية كما في الشكل 1

ان التطور الحالي في مجال التحري المعدني هو في استخدام المسح الجيوكيميائي في مواقع مختارة من دراسات مدلولات التحسس النائي وعلى الصور الاقمار الصناعية والصور الاخرى ذات العلاقة وقد تشير نتائج هذه الدراسات المتمثلة بالمظاهر الليثولوجية والبنوية الواضحة

بمقياس كبير الى ظروف جيولوجية تست اعمال لاحقة تفصيلية وخاصة باستخدام طرق مختلفة
من ضمنها الطرق الجيوكيميائية



خلفية تاريخية حول تطبيقات الاستكشاف المعدني

ان استخدام الاستكشاف الجيوكيميائي عادة قد بدأ منذ القدم فالمستكشفين الامريكان كانوا يبحثون عن الذهب بطريقة الفرز بالمصفاة اقتناء صيغ الانتشار وكذلك يبحثون عن صيغ تأكسد الحديد والصخور المتغيرة وهم في الحقيقة يهدفون الى تحديد بعض المؤشرات لمواقع تواجد الرواسب المطمورة وكذلك كانت الطرق الهيدروجيوكيميائية معروفة في اوربا منذ القرون الوسطى وذلك من خلال ملاحظتهم لتأكسد المعادن الكبريتيدية على سطح مواقع تواجدها في العروق اما استخدام طرق الجيوكيمياء الحيوية فكانت هي الاخرى معروفة ايضا في اعمال الاستكشاف المعدني حيث لاحظ الصينيون الاوائل تصاحب تواجد انواع معينة من النباتات مع تواجد رواسب الفضة ، الذهب ، النحاس ، القصدير ، كما كانوا على

علم باحتواء النباتات على الفلزات، حيث قاموا باستخراج الزئبق من انواع معينة من النباتات. لقد حدث ظهور طرق متطورة للاستكشاف الجيوكيميائي للمعادن حيث استخدمت في البداية في الاتحاد السوفيتي في اوائل الثلاثينات وبعد فترة وجيزة انتقل استخدامها الى الدول الاسكندنافية وعلى الاخص السويد وتعتبر احدى البرامج الكبيرة للاستكشاف الجيوكيميائي عن الفلزات وذلك بعد تطويرهم لطريقة التحليل الكيميائي باستخدام رسام الطيف المنبعث وتحديدهم لطريقة خاصة في جمع النماذج واعقب هذا القيام بدراسات خاصة باستخدام طريقة الجيوكيمياء الحيوية في الاستكشاف المعدني في الاتحاد السوفيتي والسويد وفلندا

ان الدراسات والبحوث التي اجريت في بداية القرن العشرين والتي وضعت اسس علم الجيوكيمياء كان لها الاثر الواضح في تطوير طرق الاستكشاف الجيوكيميائي ومن هذه الدراسات التي قام بها كولد سميت و فوكت Voget وفيرناديسكي Vernadesky وفيرسمان fersman.... الخ وبهذه الدراسات تم تحقيق المبادئ النظرية والعلمية باستخدام الطرق الكيماوية المتطورة في الاستكشاف المعدني ، بالاعتماد على نماذج تربة النباتات ، رواسب ومياه انظمة التصريف واستمر استخدام الطرق الجيوكيمياء في الاستكشاف في مناطق كثيرة من دول العالم ومن الواضح ان أي بلد بالعالم له مؤسسة تهتم بالمسوحات الجيولوجية التي تستخدم طرق الاستكشاف الجيوكيمياء وفي بلدنا قامت من مجموعة من المؤسسات الجيولوجية وخصوصا المنشأة العامة للمسح الجيولوجي بانجاز العديد من مشاريع المسح الجيولوجي باستخدام الاستكشاف الجيوكيميائي

فاعلية تطبيقات الاستكشافات الجيوكيميائي

من الصعوبة تقييم التطبيقات الناجحة للجيوكيمياء في اكتشاف الرواسب المعدنية وذلك بسبب وجود استخدامات كثر من طريقة في اكتشاف رواسب المعادن وبالتالي لايمكن دائما اعطاء أي طريقة مسؤولية اكتشاف معين بالرغم من ان التقنيات المستخدمة في الاكتشافات المعدنية من قبل الشركات المعنية غير منشورة وغير معروفة ومن هذه الاكتشافات المعدنية رواسب النحاس البورفيريري في سيلكات الكالسيوم , Casio او نحاس ياكون Yukon ورواسب الخارصين في News land نيوزلاندا ان الاستكشاف الجيوكيميائي كان مسؤولا عن اكتشاف امتدادات جديدة واسعة لمواقع معروفة التمدن سابقا كما في ويلز والمكسيك وكندا وقد تصل التقديرات النسبية لعدد الشواذ الجيوكيائية التي تم تاشيرها في الاتحاد السوفيتي الى عدد المواقع للرواسب التي يتم استغلالها فعلا على شكل مناجم بحدود 80000 : 220

ولفترة عشرين سنة التي سبقت سنة 1974 وكما ان هذه النسبة في اوربا وامريكا الشمالية والجنوبية واستراليا تبلغ بحدود 100000:150 والفترة 1970-1980 ومن المتوقع ان تتحسن هذه النسبة بتقدم اعمال تقييم مواقع الشواذ الجيوكيميائية المنتشرة في بلدان العالم المختلفة والوقوف على علاقتها وتحديد مصادرها

مبادئ اساسية في الاستكشاف الجيوكيميائي

يهتم علم الكيمياء وحسب تعريف كولد شميت بدراسة نقطتين اساسيتين

- 1- تتضمن الدراسات الوصفية لتوزيع العناصر الكيماوية في المواد المختلفة للارض
- 2- تهدف الى استكشاف القوانين التي تضبط توزيع العناصر الكيماوية الناتج من تأثير العوامل الفيزيائية والكيماوية عند مواقع مختلفة من الارض

الاستكشاف الجيوكيميائي

هو بشكل رئيسي علم وصفي يهتم بتحضير وتفسير الخرائط الجيوكيميائية بالاعتماد على فهم واضح للقوانين التي تضبط توزيع العناصر الكيماوية في المواد المختلفة للارض ويعتمد توزيع العناصر الكيماوية على الظروف الفيزيائية والكيماوية السائدة والمؤثرة في الموقع المعين من الارض والذي يدعى بالبيئة الجيوكيميائية

البيئات الجيوكيميائية Geochemical Environments

يعتمد توزيع وانتقال واعادة توزيع العناصر الكيماوية في البيئات الجيوكيميائية على توازن الاطوار المعدنية لهذه العناصر عند الظروف الفيزيائية والكيماوية لهذه البيئات والمتمثلة بدرجات الحرارة والضغط وتوفر المكونات الكيماوية وحسب الاختلاف في هذه الظروف ويمكن تقسيم البيئات الجيوكيميائية الى :

1- البيئة الرئيسية Primary Environment

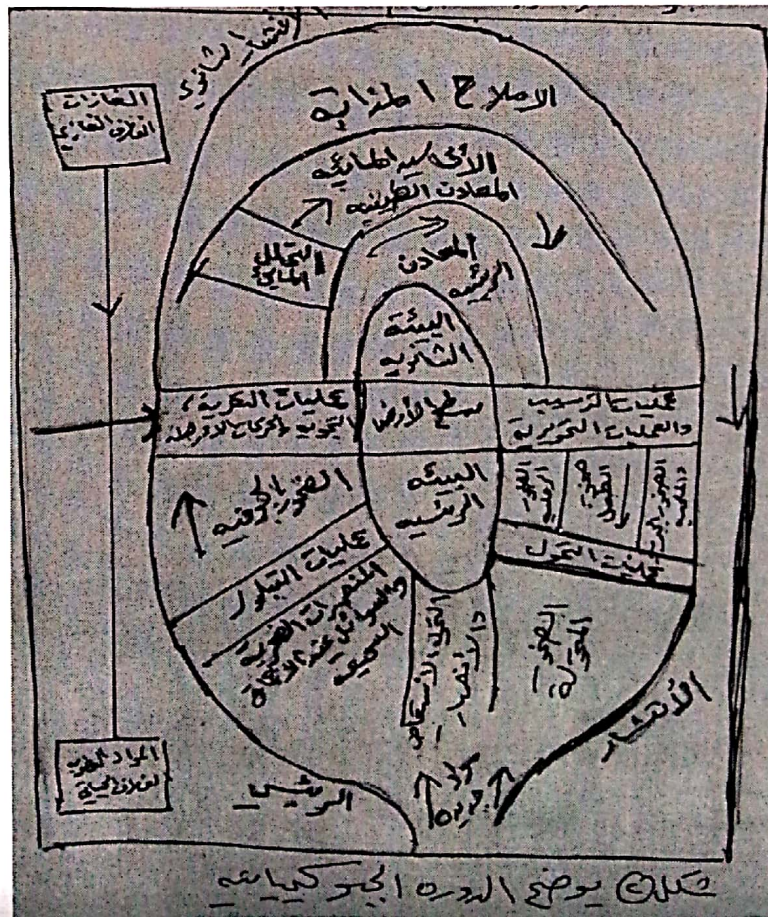
تشمل مناطق باطن الارض التي تمتد من الحد الاسفل لجريان المياه الجوفية meteoric water وحتى الاعماق التي تحدث عند عمليات التفاضل الماكمتي الماكمي وعمليات التحول وتمتاز هذه البيئة بارتفاع درجات الحرارة والضغط والحركة والسوائل كما تحتوي هذه البيئة على كميات قليلة من الاوكسجين الطليق

2- البيئة الثانوية Secondary Environment

تشمل مواقع العمليات السطحية المتمثلة بالتجوية وتكوين التربة والترسيب على سطح الارض وتمتاز هذه البيئة بانخفاض درجات الحرارة والضغط وتكون حركة السوائل طليقة وتتواجد كميات كبيرة من الاوكسجين الطليق والماء وثاني اوكسيد الكربون

الدورة الجيوكيميائية Geochemical Cycle

يمكن تمثيل انتقال المواد الصخرية بين البيئة الرئيسية والثانوية الذي يمثل صعوبة معينة لنظام مغلق يعرف بالدورة الجيوكيميائية ان الدورة تبدأ بالبيئة الرئيسية الى البيئة الثانوية بفعل تأثير العمليات الجيولوجية المختلفة واهمها الحركات الارضية وعمليات التجوية والتعرية وتؤدي هذه العمليات الى حدوث تغيرات في الصخور المتكونه في البيئة الرئيسية وحسب تركيبها المعدني فالمعادن الغير مستقرة في البيئة الثانوية غالبا ما تطلق مكوناتها من العناصر والتي يعاد توزيعها الاطوار المعدنية المستقرة وظروف البيئة الجديدة اما المعادن المقاومة لتأثير العمليات السطحية فتحتفظ بصيغتها الكيميائية الاصلية والتي تتمثل بالمعادن الرئيسية المنقولة ويتعاقب مراحل الدورة الجيوكيميائية يمكن للصخور الرسوبية ان تتحول بتأثير زيادة درجات الحرارة والضغط والاضافة الجزئية للمواد الجديدة من خارج النظام وهذا ربما يؤدي في النهاية الى حالة من السيولة ، وعند تبلورها تؤدي الى تفضلها وتكوين انواع متعددة من الصخور النارية والمحاليل الحرمائية وان الشكل (2) يمثل حالة مبسطة جدا للدورة الجيوكيميائية، حيث تفتقر بعض المواقع لعدد من مراحل هذه الدورة، وكما هو الحال بالنسبة للصخور الرسوبية الرملية والطفل التي تتأثر بعمليات التجوية والتعرية بدون خضوعها المسبق للانصهار الجزئي او عمليات التحول ان تكوين وانتقال المواد الصخرية بفعل تأثير العمليات الجيولوجية يصاحبه توزيع او اعادة توزيع العناصر الكيميائية (الانتشار الجيوكيميائي) من الاطوار المعدنية الثانوية في دراسة صيغ انتشار العناصر الكيميائية والتي بها يمكن تاشير تواجد مصدر العناصر المجواة او الرواسب الخام



الانتشار والحركة الجيوكيميائية Geochemical Dispersion and Mobility

الانتشار الجيوكيميائي هو عبارة عن نواتج العمليات التي تؤدي الى توزيع او اعادة توزيع العناصر الكيماوية بتأثير العوامل الفيزيائية والكيميائية للعمليات الجيولوجية المختلفة وحيث ان عمليات اندساس او تدفق المنصهر الصخري السليكاتي بما تحمله من مواد صلبة، وحركة المواد السطحية بفعل تأثير حركة الجليد انتشارا ميكانيكيا للمواد الصلبة ويمتاز هذا الانتشار بقلّة او عدم تفاضل او تجزئة كيميائية للمواد الصلبة المنتشرة وان الانتشار الذي يحدث بفعل كيميائي وكيميائي حيائي الى تجزئة وتفاضل المواد الصخرية حيث تنتشر مكوناتها من العناصر الكيماوية حسب قابلية هذه العناصر على الحركة فالمكونات الاكثر حركة لها قابلية على مغادرة منطقة المصدر وعند دخولنا الى بيئة جديدة ومن الممكن ان تترسب هذه المكونات عند توفر الظروف الملائمة الجديدة ينقسم الانتشار الجيوكيميائي الى رئيسي وثنائي حسب البيئة التي يحدث فيها الانتشار وبالرغم من ان القوانين التي تحكم الانتشار في البيئة الرئيسية والثانوية متشابهة الا ان الانتشار الرئيسي يحدث في مواقع تختلف عن مواقع الانتشار الثانوي وحيث ان مواقع الانتشار الرئيسي هي الشقوق والفتحات للمسافة البينية للصخور عند الاعماق واما الشقوق والفواصل للصخور القريبة من السطح والفراغات المسامية لرواسب التغطية على سطح الارض تمثل الانتشار الثانوي وان سلوك العناصر الكيماوية المكونة للمعادن والصخور خلال عملية الانتشار تعتمد على قابلية هذه المكونات على الحركة وان عمليات الانتشار توفر طورين الاول سائل متحرك والثاني غير متحرك صلب (متبلور) وتعتمد حركة المواد خلال الانتشار الجيوكيميائي بفعل فيزيائي على :

1- الخواص الميكانيكية للصخور المتحرك مثال درجة لزوجة المنصهر الصخري السليكاتي والمحاليل الاخرى وكما هو الحال في المنصهر الصخري الحامضي والقاعدي والمحاليل الحرمانية وحيث تصل درجة اللزوجة اقل مايمكن بالحرمانية ولهذا تنتقل الى مسافات كبيرة نسبة للمنصهر الصخري

2- حجم وشكل وكثافة الصخور والمعادن المنتقلة في الطور المتحرك (عادة الماء) على سطح الارض مثال توضيحي ان قيم الوزن النوعي لمعادن الكوارتز (2.65) زركون (4.68) ، كرومايت (4.6) المنيت والفضة (10.5) والذهب (19.3-15.0) يلاحظ ان فتات الذهب ينتقل الى مسافات قليلة في انظمة التصريف اما حركة المواد خلال الانتشار الجيوكيميائي بفعل كيميائي فهو اكثر اهمية في الاستكشاف الجيوكيميائي وتعتمد هذه الحركة على الاستقرار النسبية للعناصر الكيماوية في الاطوار السائلة والمتحركة والاطوار الصلبة الغير متحركة الناتجة من التغيير الحاصل في ظروف البيئة الجيوكيميائية بشكل عام تتواجد المعادن بحالة

مستقرة في الانظمة التي تحتوي على تراكيز عالية من العناصر المكونة لها ففي الظروف الموجودة عند الاعماق هناك عشرة عناصر رئيسية متواجدة بتراكيز عالية (H, Ti, K, Na, Mg, Ca, Fe, Al, Si, O) هي العناصر المكونة للصخور النارية والمتحولة وبإضافة عنصر الكربون الى هذه وبالإضافة الى عنصر الكربون الى هذه المجموعة من العناصر يمكن تاشير نفس الملاحظة بالنسبة للصخور الرسوبية واما بالنسبة للعناصر النزره (قليلة التركيز) فهي تدخل الاطوار المعدنية من خلال التصاقها على اسطح المعادن او من خلال عملية الاحلال الايوني حسب قوانين كولد سمت ورينود Ringwod والتي تستند الى قيم نصف القطر الايوني والشحنة الايونية والسالبية الكهربائية للعناصر الكيميائية ويمكن تفسير تواجد العناصر Cr, Co, Ni في معادن الحديد والمغنيسيوم وعنصري الثيرون U , Th في معدن المونازايت و فلوريد الهيدروجين Hf في معدن الزركون وتعكس التراكيز العالية لمكونات المعادن من هذه العناصر النزره اغناء الاطوار السائلة بهذه العناصر فمثلا معادن المايكا الغنية بعنصر القصدير في صخور البيغماتايت تعكس اغناء سوائل البغماتايت بعنصر القصدير ويعكس معدن الليمانايت الغنية بالنحاس تواجد عنصر النحاس بتراكيز عالية في المياه الجوفية

اما حركة المواد خلال الانتشار الجيوكيميائي بفعل كيميائي فهو اكثر اهمية في الاستكشاف الجيوكيميائي وتعتمد هذه الحركة على الاستقلالية النسبية للعناصر الكيميائية في الاطوار السائلة المتحركة والاطوار الصلبة الغير متحركة الناتجة من التغيير الحاصل في ظروف البيئة الجيوكيميائية فمكونات الطور المتحرك من بعض العناصر الكيميائية التي لها القابلية على الدخول الى الطور الصلب سوف تغادر الطور المتحرك والعناصر الاخرى تبقى في الطور المتحرك وربما تنتقل الى خارج النظام ومن معرفة الاطوار المعدنية المستقرة عند ظروف معينة يؤدي الى معرفة المكونة لهذه المعادن بشكل عام تتواجد المعادن بحالة مستقرة في الانظمة التي تحتوي على تراكيز عالية من العناصر المكونة لها ففي الظروف الموجودة عند الاعماق هناك عشرة عناصر رئيسية متواجدة بتراكيز عالية (H, Ti, K, Na, Mg, Ca, Fe Al, Si, O) وهي العناصر المكونة لمعادن الصخور النارية والمتحولة وبإضافة عنصر الكربون الى هذه المجموعة من العناصر يمكن تاشير نفس الملاحظة بالنسبة للصخور الرسوبية اما بالنسبة للعناصر النزره (قليلية التركيز) فهي تدخل الاطوار المعدنية من خلال التصاقها على سطح المعادن او من خلال عملية الاحلال الايوني الذي تضبطه القوانين المعروفة لكولد شميت

Goldschmide ورينكود Ringwod

حركة العناصر في البيئة الرئيسية

يمكن دراسة حركة العناصر الكيماوية في البيئة الترسيبية من خلال ملاحظة سلوك هذه العناصر خلال عمليات التبلور للصهير الصخري السليكاتي وكذلك خلال عمليات التحول .
فخلال عمليات التبلور للصهير تشمل بعض العناصر من الطور المتحرك الى الطور الصلب مكونة اطوار معدنية مختلفة ومتعاقبة حسب سلسلة تفاعل بوين والتي تنتهي بتكوين محاليل حرمانية تحتوي على عناصر ليس لها القابلية على الدخول الى الاطوار الصلبة المتبلورة خلال مراحل تبلور المعادن المعروفة والمكونة للصخور النارية وتعتبر المحاليل الحرمانية ذات اهمية بالغة في الاستكشاف المعدني حيث استندت فرضية تكون الراسب الخام من هذه المحاليل على :

1- احتواء الصهير الصخري السليكاتي على 1%- 5% وزنا من الماء والذي يبقى معظمه على شكل محاليل حرمانية بعد عملية التبلور

2- تحتوي هذه المحاليل التي تكونت بهذه الصيغة على تراكيز كافية من الفلزات لتكوين

رواسب الفلزات الاساسية

3- انخفاض درجات الحرارة والضغط وتفاعل هذه المحاليل مع صخور الحائط يؤدي الى ترسيب بعض المعادن الخام وتعتمد حركة المكونات الفلزية في المحاليل الحرمانية على استقرارية معقدات الايونات الذائبة لهذه الفلزات في المحاليل الحرمانية واهم هذه المعقدات هي الهالوجينات (الكور والفلور) والكبريدات اما بالنسبة لسلوك العناصر خلال عمليات التحول فيمكن تاشير نفس الملاحظات اعلاه بزيادة الضغط ودرجات الحرارة تصبح المعادن المائية الرسوبية غير مستقرة وتعطي مكوناتها من الماء الذي يمثل الطور المتحرك مثال



وتنتقل المكونات الكيماوية التي ليس لها القابلية على الدخول في الاطوار الغير المتحركة الجديدة الى الطور المتحرك وتشمل هذه المكونات على كميات ملحوظة من العناصر المتضمنة كثير من فلزات الرواسب الخام التي تترسب حسب استقرارية معقداتها

حركة العناصر في البيئة الثانوية

يمكن معرفة حركة العناصر في البيئة الثانوية من خلال سلوك العناصر خلال سلوك العناصر خلال العمليات الجيولوجية السطحية من خلال سلوك عمليات التجوية حيث عند تحرير ايونات العناصر من الاطوار الصلبة بفعل عمليات التجوية تدخل هذه الايونات في النظام الهيدرولوجي وحيث تفاعل فيما بينها حسب قيم الحد الايوني الناتج من خلال قسمة مقدار الشحنة الايونية على نصف القطر الايوني ويمكن استخدام قيم الجهد الايوني في تحديد فعالية الايونات حيث الايونات

التي تملك جهدا ايونيا الى حد تمثل الايونات الاقل فعالية والتي تحافظ على صفاتها الايونية في الماء واما الايونات الاخرى التي تمتلك جهدا ايونيا من 3- 12 لها ميول للاتحاد مع ايون الهيدروكسيد وهي تمثل العناصر المتصاحبة مع المتمينات (hydroxylation) والايونات التي تمتلك جهدا ايونيا اكبر من 12 هي الايونات التي تميل الى تكوين معقدات (مع الاوكسجين) ايونية ذائبة يمكن دراسة حركة العناصر في البيئة الثانوية من خلال دراسة استقرارية معقدات ايونات العناصر في المياه السطحية والجوفية ويمكن حساب الذوبان النسبي للايونات العناصر بالاعتماد ثوابت نوعية الاطوار المعدنية والاطوار الايونية الذائبة وكذلك يمكن حساب حركة ايونات العناصر ولكن يتطلب ذلك توفر حالة التوازن التي تفتقر اليها عادة العمليات الطبيعية وحيث ان حالة التوازن في البيئة الثانوية تضطرب بتاثير عوامل مختلفة منها :

1- ترسيب بعض العناصر النزره مع ترسيب اطوار معينة من المعادن الشائعة (الترسيب

المتصاحبة (Cooprecipitation) مثال اكاسيد الحديد والمنغنيز المائية

2- تاثير التفاعلات العضوية والعمليات الحيوية للكائنات الحية على تماس مع المحاليل

الطبيعية على سطح الارض

ويمكن ادراج امثلة لبعض العناصر لها جهد ايوني مثل العنصر Cs جهد الايوني 0.6 ،

K^{+} جهده الايوني 0.75 ، Ca^{+2} جهده الايوني 2.0 ، Mg^{+2} جهده الايوني 3 ، N^{+5} جهده

الايوني 3.7..... الخ

هنالك صعوبة للتقدير الكمي للحركة النسبية عند ظروف سطح الارض بسبب ندرة تواجد

حالة التوازن بين الاطوار غير المتحركة في المحيط الديناميكي لسطح الارض ويمكن ان

يتم ذلك من خلال مقارنة التركيب الكيماوية للمياه والتربة التي لها تماس بهذه المياه او

مقارنة التركيب الكيماوي للمياه او التربة مع التركيب الكيماوي للصخور الغير مجواة

التي تمثل صخور المصدر حيث ان تمثيل التركيب الكيماوية لصخور المصدر بمعدل

التركيب الكيماوي لصخور القشرة الارضية وتمثيل التركيب الكيماوي لمياه انظمة

التصريف بمعدل التركيب الكيماوي للمياه الجيرية

ومن خلال مقارنة التركيب يمكن حساب الحركة النسبيه عند ظروف سطح الارض حسب

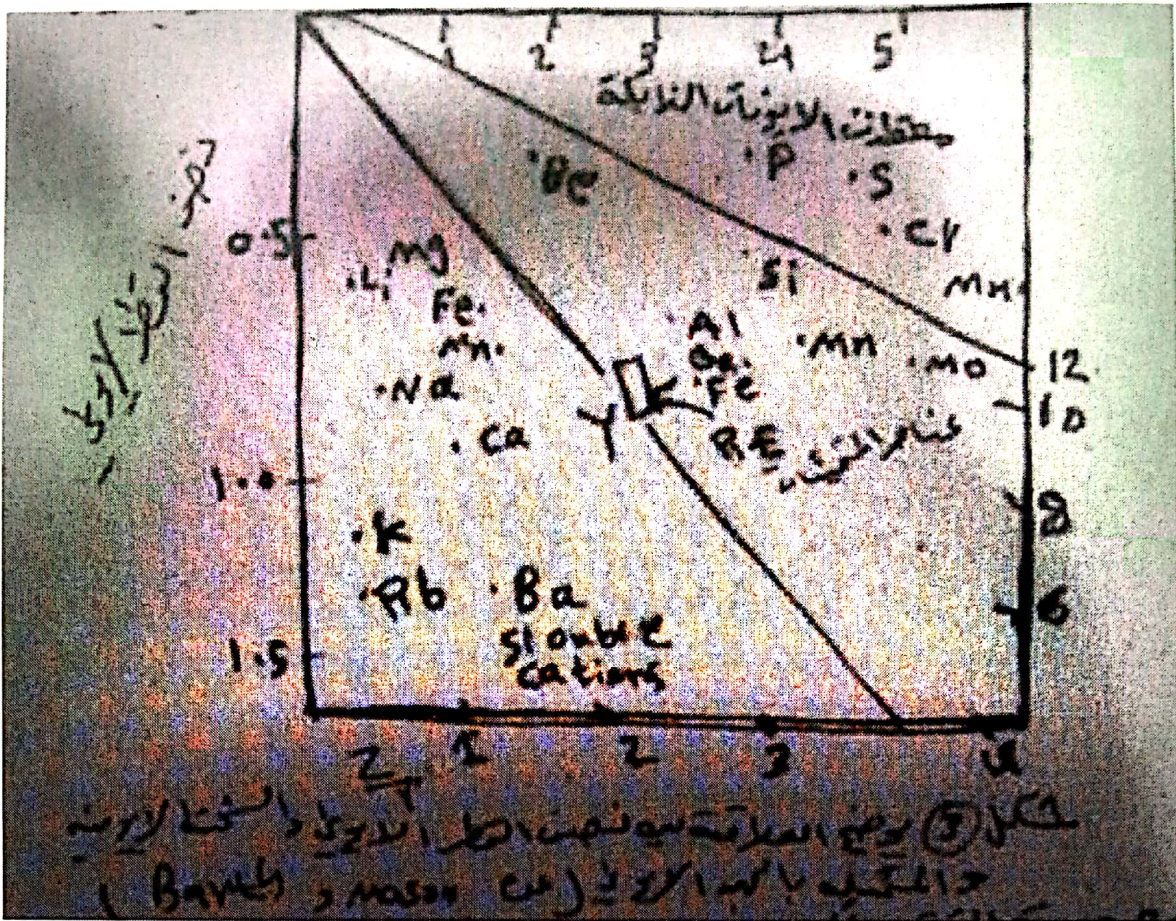
التسلسل الاتي

$Ca > Na > Mg > K > Si > Al = Fe$ ويجب التاكيد بان هذا التسلسل غير ثابت بل يتغير

بتاثير عوامل محلية خاصة بظروف المنطقة التي يتم تطبيق هذه الطريقة فيها وحيث تم حساب

الحركة النسبية للعناصر الكيماوية في مناطق مثلجة في انكلترا الجديدة كم في التسلسل التالي

$Mg > Ca > Na > K > Si > Al = Fe$



التصاحب الجيوكيميائي Geochemical coherence

ان العناصر الكيميائية خلال العمليات الجيولوجية بصيغ معينة حسب مسمح لها للدخول واستقرار بقائها في الاطوار الصلبة او السائلة وهذا يعتمد على الخواص التالية

- 1- نصف القطر الايوني
- 2- الشحنة الايونية
- 3- 3- السالبية الكهربائية
- 4- جهد التايين
- 5- طاقة المجال البلوري
- 6- الجهد الايوني
- 7- قابلية الرسوبيات العضوية واللاعضوية على امتصاص وترسيب ايونات بعض العناصر

والشكل التالي يوضح النواتج الرواسب وما تحمله من العناصر ضمن العمليات الجيولوجية

المقاومات	المؤكسدات	التممينات	كاربونات	المتبخرات	المختزلات	الحياتيات
Si	Fe, Mn	Al Si (K)	Ca, Mg	Na, Ca,	C, S, Hc, S ²⁻	Ca, Mg, Si,
كوارتز	جوثايت	الاطيان	كالساييت	Mg, B	الفحم	P
زركون	ليمونايت	بوهيمتايت	دولومايت	هالايت	البتروول	كالساييت
المنيايت	بيروولوسايت	بوكسايت	اراكونايت	جبس	بايرايت	صوان
روتايل	ت	السجيل	ت	انهيدرايت	الكبريت	فوسفات
مونازايت		الاسود		البسمومايت		اماكونايت
كسترايت				يوريت		
ذهب				كالساييت		
بلاطين				دولومايت		

ويمكن تصنيف الحركة النسبية للعناصر الرئيسية والثانوية في بيئة سبليسية كما في الجدول التالي

العناصر الثانوية	العناصر الرئيسية	الحركة النسبية
Br, I, Mo, B, Se	S, Cl	عالي الحركة
Zn, Ba, U	Ca, Na, Mg, K	متوسط الحركة
Ni, Co, Cu, As, Sb, Pb	Si, Mn	متوسط السليكون
Cr, RE	Fe, Al, Fe	ساكن

Re = العناصر الترابية النادرة المصدر (Hawke and Webb)

البيئة الكلسية	البيئة السبليسية	الحركة النسبية
	S, Mo, Zn, Ag	متحرك
S, Mo, Zn, Ag	Cu, Co, Ni, Mo, As	متوسط الحركة
Fe, cu, Pb	Fe, Pb, As	ساكن

بصورة دقيقة يعتمد سلوك العناصر على استقراريتها في الطور السائل مقارنة باستقراريتها في الطور الصلب عند ظروف معينه وتتطلب ايجاد مقارنة معرفة طاقة كبس الحرة للتفاعل الذي يمثل توزيع العناصر بين الطور الصلب والطم تصنفور السائل ومثل هذه المدلاولات غير متوفرة للتفاعلات التي تحدث عند ظروف عالية من ضغط ودرجة حرارة وبشكل عام تصنف العناصر في الطبيعة الى خمسة اصناف هي

عناصر Siderophil , Cholocophil ليثوفيل اتموفيل وهيدروفيل تتميز بعض العناصر باقتصار تواجدها في اطوار معينة وذلك من خلال احلالها محل احد العناصر الرئيسية المكونة لتلك الاطوار المعدنية عند ظروف وبيئة معينة مثال

Nb -To: Zr- Hf

Si- e, Al-Ga, Ca- Sr ,K- Rb

ويمثل تواجد هذه الازواج من العناصر مفهوم التصاحب الجيوكيميائي Geochemical Coherence وتمتد تلك العناصر المتصاحبة في بيئة معينة (بيئة صهيرية) سلوكا مختلفا وتنفصل عن بعضها البعض في بيئة اخرى (بيئة رسوبية) توضح بعض امثلة للتصاحب من خلال عملية التصاحب يلاحظ تواجد انواع من العناصر في صخور معينة وتؤدي عملية التصاحب الى مفهوم العنصر الدليل

العناصر المتصاحبة	انواع الصخور
Cr, Co, Ni, Cu	صخور نارية داخلية
T i, V, Sc	صخور سلكاتية الحديد والمغنيسيوم
Ti-Nb_ta	صخور الحديد والمغنيسيوم
Re - T- P -E	الصخور القلوية
V- Th- Zr- Hf- ce	صخور الكاربوناتية
Cu, Mo, Re	خامات المحاليل الحارة الكبريتيدية
Hg As Sb-se	رواسب النحاس البورفيرى
Bi -Sb-As	المعدنات الكبريتيدية
Auo ,Ag- Co-As	رواسب العناصر الثمينة
Zn- Cd- Ag-Au	السجيل الاسود
U- V- Mn - Ni- Ag- Bp- F- RE	الصخور الفوسفاتية
Li- Rb- Cs- Sr- Br- I- B	صخور المتبخرات

Co-Ni-Ba-V	اكاسيد المنغنيز
Nb -Ti -Ca -Be	بوكسائيت

العناصر الدالة pathfinder elements

ان اول من اقترح مصطلح العناصر الدالة هما وراي ودي فولت وذلك لتأشير مثل هذه العناصر واستخدامها في اقتفاء اثر تواجد العنصر (الخام) وان تصاحب العناصر او المعادن مع العنصر الخام والتي تكون الهالة كان سبب في البحث عن رواسب الخام . ان العناصر المتصاحبة وكذلك بضمنها الخام تكون مختلفة الحركة في الاطوار السائلة فهناك عناصر معينة لها حركة اكبر من العناصر الاخرى بسبب الظروف الفيزيائية-الكيميائية للسوائل التي وجدت فيها هذه العناصر او سبب الحالة الفيزيائية (الغازية) لهذه العناصر والحركة العالية الرئيسية لهذه العناصر هي المسؤولة عن تكوين الهالة الرئيسية الواسعة وبشكل عام فعناصر الهالة الرئيسية الواسعة والبعيدة ليست العناصر او العنصر المكون لرواسب الخام ويمكن تعريف العناصر الدالة هي العناصر او العنصر المتصاحبة مع عنصر المعدن الخام والتي تمتاز بسهولة تحسسها وايجاد تراكيزها بسبب تكوينها لهالة عريضة ولتوفر طرق التحليل المناسبة وان الجدول التالي في ادناه يوضح العناصر الدالة المتواجدة في انواع مختلفة من النماذج المستخدمة في الاستكشاف الجيوكيميائي من انواع معينة من الرواسب الخام ان تواجد العناصر الدالة يكون بصيغ مختلفة حيث توجد في بعض الحالات في المعادن الغنية (الشوائب) Gangue وفي الحالات الاخرى تتواجد العناصر الدالة بصيغة احلال بينة المعادن الخام ويمكن ان تمثل العناصر الدالة احدى العناصر المكونة للرواسب المتعددة للمعادن الخام وتسمى بالعناصر المؤشرة indicator element مثل استخدام الخارصين في البحث عن الرواسب التالية

Pb-Ag-Zn وحيث ان قسم من المصادر العلمية وخصوصا السوفيتية تستخدم العناصر المؤشرة المباشرة وغير المباشرة بدل من مصطلح العناصر الدالة وحيث يستخدم مصطلح العناصر المؤشرة للعناصر الدالة المتمركزة في رواسب المعادن الخام مثل استخدام Cu في البحث عن رواسب النحاس اما مصطلح العناصر المؤشرة الغير مباشرة تستخدم لتمثيل العناصر الدالة المتصاحبة مع عنصر المعدن الخام مثل استخدام عنصر الليثيوم Al في البحث عن رواسب Ta وذلك بسبب عدم توفر تقنية تحليلية جيدة ومناسبة لايجاد تراكيز عناصر Ta

ان اختيار العناصر الدالة يتطلب تواجد هذه العناصر في البيئة الرئيسية مع العنصر (الخام) او تكوين هذه العناصر من خلال عملية التحلل الاشعاعي للعنصر (الخام) مثل استخدام غاز الرادون كعنصر دليل في البحث عن رواسب اليورانيوم ويجب ان تكون للعناصر الدالة علاقة مباشرة مع العنصر الخام و اشارت قسم من الدراسات العلمية الخاصة بالاستكشاف الجيوكيميائي وخصوصا الدراسات السوفيتية الحديثه الى اعتماد خيار العنصر الدالة على شكل وموقع جسم الخام حيث ان هالة المعدن قد تكون افقية او عمودية حسب حركة العنصر الدال وحيث يستخدم العناصر الدالة في البيئات الثانوية مثل التربة ،المياه، الرواسب واما استخدامها في البيئة الرئيسية فقد بداء في الالونة الاخيرة من خلال الاهتمام بجيوكيميائية صخور الام وان هناك سببين رئيسيين للاستخدام العناصر الدالة في الاستكشاف الجيوكيميائي الاول بسبب الحركة العالية لهذه العناصر مقارنة بالعنصر الخام مما يؤدي الى تكوينها هالة عريضة وواسعة مثل استخدام عنصر Hg وعنصر As كعنصر دليل لرواسب الذهب والثاني بسبب طرق التحليل المستخدمة للعناصر هي طريقة بسيطة اقل كلفة ولها القدرة على تخمين هذه العناصر مقارنة بطرق التحليل للعناصر والخام وخير مثال على ذلك هو سهولة تحليل Ni , Cu , Cr كعناصر دالة في البحث عن رواسب pt وهناك عناصر اخرى يجري تطوير استخدامها كعناصر دالة مثل عنصر Re كعنصر دليل للبحث عن رواسب الخام

العنصر الدليل	انواع النماذج	انواع الرواسب الخام
As	صخور الحائط ، التربة المتبقية ، رواسب الروافد ،	خامات الذهب العرقية
Hg	صخور الحائط ، التربة	معقدات خامات Ag-Zn-Pb
Se	رواسب الخام المتأكسد- التربة المتبقية	خامات الكبريتات متأخرة التكوين
Ag	التربة المتبقية	خامات الذهب الحاملة للفضة
Mo	الماء ، رواسب الروافد، التربة	رواسب النحاس البورفيرى

جدول يوضح العنصر الدليل واستخداماته في الكشف عن الرواسب الخام عن (Hawkes & Webb)

البيئة الجيوكيميائية الرئيسية - صيغ الانتشار الرئيسي

Primary geochemical environment- Primary dispersion pattern

ان بيئة الانتشار الرئيسي تمتاز بالظروف العالية من ضغط ودرجات الحرارة والتي تختلف عن الظروف الواطنه والمؤثرة على سطح الارض وتظهر نتائج الانتشار الرئيسي في الصخور النارية والمتحولة والصخور ذات المنشاء المحاليل الحرمانية والتي بعد تكوينها في اعماق الارض ارتفعت الى سطح الارض بفعل عمليات التجوية والتعرية والحركات الارضية ويمكن تقسيم الانتشار الرئيسي للعناصر الكيماوية الى نوعين اساسيين

1- **الصيغ المتاخرة ايبيجينتك Epigenetic** وهي صيغ الانتشار المتكونة من خلال اضافة مواد جديدة الى الصخور الحاضنة المتكونة سابقا وحسب تصنيف (هاوكس ووب) وهذه الصيغ يمكن ان تقسم الى انواع ثانوية بلاعتماد على العوامل التي ادت الى تكوينها مثل اضافة وترسيب مواد جديدة واعادة تبلور وتجزئة المكونات الاصلية للصخور بسبب الاختلاف في درجات الحرارة والضغط كذلك يمكن ملاحظة صيغ انتشار الغازات في الصخور وفيمايلي توضيح لهذه الصيغ:

2- **الصيغ المتزامنه سينيميتك (Syngenetic Patterns) :**

حيث هنالك تصاحب انواع معينة من الرواسب الخام . مع انواع معينة من الصخور الباطنية وقد تم استخدام هذا التصاحب قديما من قبل المكتشفين الجيولوجيين مثال تصاحب الكاسيترايت مع صخور الجارنيت البوتاسية، تصاحب الكرومايت مع الصخور القاعدية وفوق القاعدية ويمكن تاثير هذا التصاحب من خلال ملاحظة تراكيز العناصر في الصخور النارية وعلى الاخص التي لاتشكل عنصرا رئيسيا في المعادن المكونه لها ان بعض العناصر التي تعكس التصاحب بين الرواسب الخام مع الصخور الحاضنة ان حجم الانتشار الرئيسي للعناصر في الصخور ذات المنشاء العميق وكذلك الصخور ذات المنشاء الرسوبي الذي يتراوح بين مئات الاميال الى حجم منجم واحد او مجموعة من المناجم وتدعى صيغ الانتشار بالمقاطعة الجيوكيماوية

المقاطعة الجيوكيماوية Geochemical Province

وهي مساحة كبيرة نسبيا ومحددة من القشرة الارضية التي تحتوي على عنصر واحد او اكثر بتراكيز اعلى من الحد الطبيعي وقد اقترح Bradshaw بان هذه المساحة قد تصل الى عشرات او مئات الاميال كما اشار بان المقاطعة هي المثال الاكبر للهالة الرئيسية بالرغم من ان معظم المختصين يعتقدون بان المقاطعة الجيوكيماوية تمثل تراكما لعنصر او مجموعة من العناصر الكيماوية المعينة. يوجد في العالم العديد من الامثلة على المقاطعة الجيوكيماوية منها المناطق المنتجة للذهب في بيرو وشيلي وحقول الذهب في جنوب افريقيا ومقاطعة اليورانيوم في كلورادو ، صخور الجرانيت الحاملة للقصدير في بوليفيا وصخور الحديد- المغنيسيوم الحاوية على تراكيز عالية من البلاتين -النيكل في جنوب افريقيا تختلف العوامل الجيولوجية التي ادت الى تكوين

المقاطع الجيوكيميائية باختلاف صخور هذه المقاطعات فالنسبة للمقاطعة التي تحتوي على صخور نارية فيكون الاختلاف في التركيب الكيماوي للصهير يسبب فيها تكوين تلك المقاطعة بينما المقاطعات الرسوبية سبب تكونها هي المصدر والبيئة الرسوبية والظروف المناسبة لحركة العناصر ان اهمية استخدام المقاطعات الجيوكيميائية في الاستكشاف المعدني وذلك بسبب احتوائها على مساحه كبيرة من الصخور التي تحتوي على تراكيز غير طبيعية من العناصر يمكن تحديد المقاطعات للصخور النارية والمتحولة من خلال المسح الجيوكيميائي الاولي لرواسب الروافد او مياه التصريف بالاعتماد على المعلومات المتوفرة في تواجد العناصر الشحيحة والثانوية لقد استخدم المختصون السوفيت الاوائل مصطلح المقاطعة الفلزية ولايزال يستخدم في كثير من المصادر العلمية لتأشير تواجد تراكيز عالية من العناصر الفلزية فقط وقد انتقد بولي استخدام هذا المصطلح حيث قال ان تواجد العناصر في المقاطعة الجيوكيميائية لا يقتصر فقط على العناصر الفلزية ولكن يمكن ان تتصاحب العناصر الفلزية وللفلزية في المقاطعات الجيوكيميائية مثال على ذلك مقاطعة الذهب في الدرع الكندي التي تتواجد فيها صخور تحتوي على تراكيز عالية من السيلكون بصيغة معدن الكوارتز وتراكيز من الكالسيوم ، المغنيسيوم ، الحديد وثاني اوكسيد الكربون بصيغة معادن الكربونات، اما الذهب الذي منه اشتقت اسم المقاطعة ، فهو عنصر دخيل يتواجد بتراكيز اقل من 15 ppm

الصيغ المتزامنة المحلية Local syhgentic pattern

ان صيغ الانتشار الرئيسي التي تبلغ ماسحتها اميال بدلا من مئات الاميال تسمى بالصيغ المتزامنة المحلية ولا يمكن اعزاء منشئها الى الاختلافات الطبيعية في تركيب القشرة الارضية بل هي في اكثر الاحتمالات ناتجة عن عمليات نشاء الصخور petrogenesis ، التمايز الماكي Magmatic differentiation وعمليات التحول Metamorphism مثال الزيادة النظامية في كمية الاشعة وتراكيز السليكا في صخور الكرانيت ولمسافة خمسة اميال باتجاه تواجد بمعدن الذهب ، لا يمكن توضيحها الابنفس عمليات المنشاء التي ادت الى وضع الجسم الخام للذهب ويعتقد بان طبيعة تواجد رواسب عنصري Cu, Zn في اجزاء معينة من كولومبيا البريطانية يمكن ملاحظتها من ملاحظة التراكيز المستخلصة لهذين العنصرين في النماذج الطازجه من الصخور الجوفية المتصاحبة مع رواسب الخام لكل العنصرين ومع هذا فلا يمكن تحديد فيما اذا كان تواجد هذين العنصرين جاء بصورة متزامنة مع تكون الصخور الحاضنه ام كان نتيجة اضافة محاليل متمعدنة بعد تكوين الصخور الحاضنة ، بان تركيز الرصاص في معادن فلبسبار البوتاسيوم من صخور المونزونائيت الحاملة للكوارتز في مناطق تواجد مناجم الرصاص نسبة للمناطق التي لايتواجد فيها مناجم الرصاص ولا بد من الاشارة الى ضرورة

الاستخدام الحذر لمثل هذه الصيغ في الحقل وذلك بسبب ان الاختلافات في تراكيز العناصر الشحيحة ربما جاءت نتيجة التفاضل المتزايد او المتقدم للصخور الحاضنة حيث ان تراكيز العناصر Co Ni Sn li تختلف في الاطوار المتعاقبة في الكرانيت

الصيغ المتأخرة ابيجنتيك Epigenetic pattern

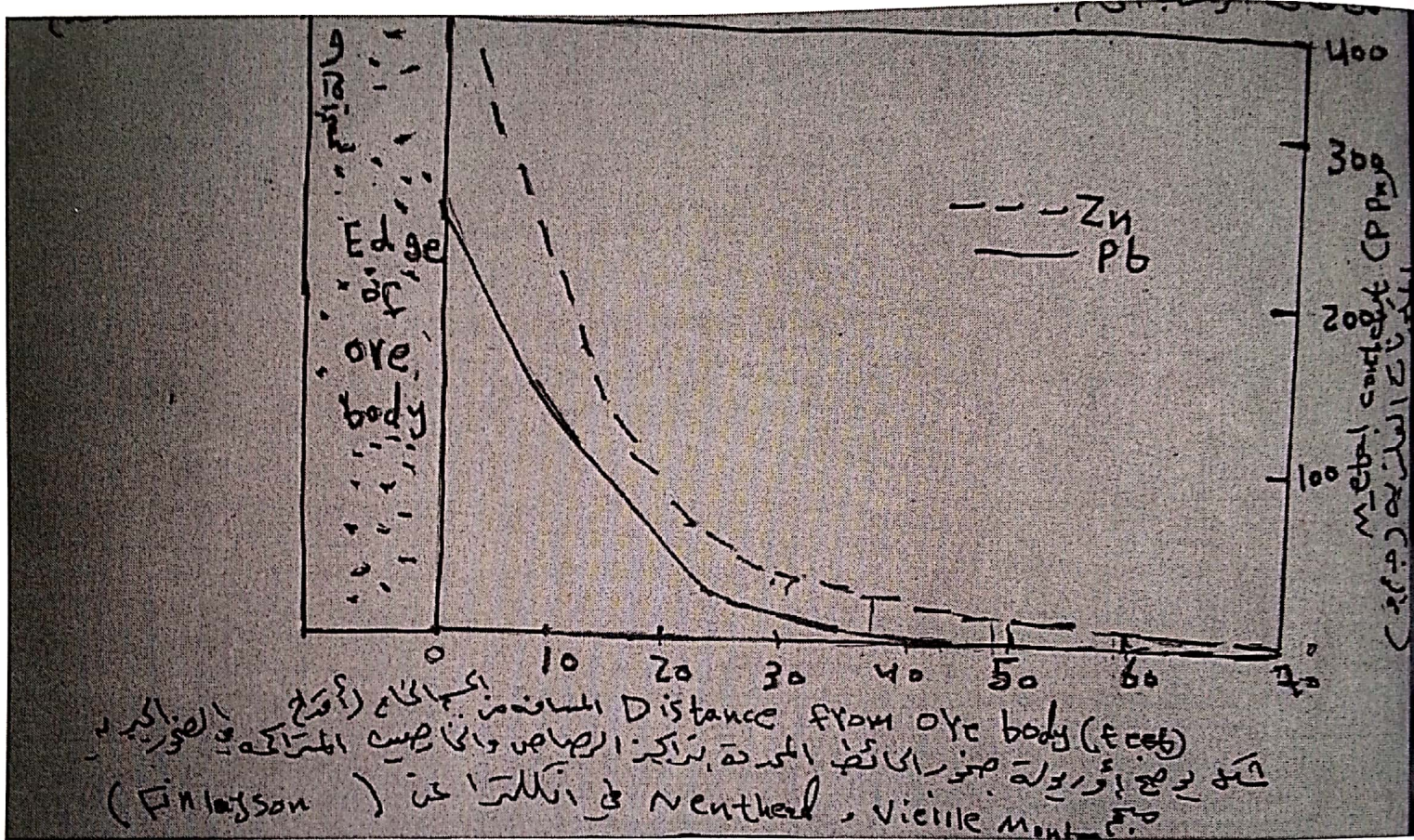
يمكن تصنيف الصخور المتأخرة الى نوعين اساسين بالاعتماد على طبيعة المؤثرات التي ادت الى تكوين هذه الصيغ

1- صيغ الانتشار الحرمانية: ان تكون رواسب المعادن المتأخرة هي النتيجة الوحيدة للعمليات المعقدة والتي تدعى بالفعليات الحرمانية وكانت طبيعية ومنشاء هذه المحاليل موضوع جدل ومناقشته لزمان طويل وفي الوقت الحاضر لا يوجد اعتراض كبير على احتواء هذه المحاليل على الماء وعلى درجة حرارة العالية نسبيا ولهذا سميت بالمحاليل الحرمانية وان وضع الفلزات في صيغ الانتشار الحرمانية عادة ماتنتج عن تأثير الحركة الكتلية للمحاليل الحرمانية واما اتجاه حركة هذه المحاليل فهو موضوع جدل بين اختصاصي الجيولوجيا الاقتصادية ولكن الحركة باتجاه الاعلى من مصدر الاسفل هو اكثر النظريات قبولا وفي نفس الوقت فان هنالك شواهد على الحركة الافقية باتجاه العروق المعدنية ومن صخور الحائط وكذلك الحركة باتجاه الاسفل ومن الاعلى وفيها تكن ميكانيكية واتجاه حركة المحاليل الحاملة للخام فان الاثار التي تتركها هذه المحاليل على القنوات التي تمر بها ، ذات اهمية بالغة كدليل عن الرواسب الخام ومن التحليل الكيماوي للعناصر الشحيحة والمشخصة والمترسبة من هذه المحاليل يمكن تحديد ممرات هذه القنوات والاتجاه الذي تسلكه هذه المحاليل وبالتالي يمكن تحديد عدد من الاتجاهات التي تستوجب فيها تكثيف اعمال البحث عن الرواسب الخام

2- صيغ انتشار صخور الحائط Wall –Rock Dispersion pattern

ان التاثيرات الاخرى لفعليات المحاليل الحرمانية هو التغيير الذي تحدثه صخور الحائط حيث يتميز كثير من الرواسب المعدنية ذات المنشاء الناري او المحاليل الحرمانية ، بوجود نطاق مركزي مثل العروق ، تتركز فيها العناصر الثمينة بكميات اقتصادية وفي معظم الاحيان يوجد انخفاض متدرج ومتعاقب بتراكيز هذه العناصر في الصخور المحيطة بالرواسب الخام وحتى يصل تراكيز هذه الصخور الى الحد الطبيعي ويسمى النطاق الذي تبدأ تراكيز العناصر بالانخفاض والى ان تصل الحد الطبيعي (اوربولة صخور الحائط) Wall Rock Auras ان الصيغة الرياضية اللوغارتم هي المتوقعة لتوزيع تراكيز العناصر في صخور الحائط وذلك بسبب طبيعية ميكانيكية انتقال المحاليل بواسطة الانتشار

خلال وسط مستقر اما وجود الكسور وحتى اعلى مقياس صغيرا جدا في صخور الحائط يؤدي الى تشويه الاوريلييه وبشكل عام يعتمد عرض الاوتورريليه على الفعالية الكيماوية لصخور الحائط ففي الصخور ذات الفعالية مثل الحجر الجيري والدولومايت يتحدد عرض الاوريلييه من 5 الى 200 قدم من حافة الراسب الخام مباشرة وفي الصخور ذات الفعالية الكيماوية المنخفضة مثل الصخور النارية والمتحولة تمتد الاوريبوله الى مئات او حتى الالف الاقدام من حافة الراسب الخام



المكونات الفلزية في صخور الحائط الجيرية (ج. م.)				
صخور الحائط المتكسرة		صخور الحائط الكتلية		المسافة من العرق (قدم)
الخارصين	الرصاص	الخارصين	الرصاص	
34000	600	1900	1600	صفر
500	1700	850	600	5
800	1600	180	230	10
900	1400	220	220	15

900	1300	260	120	20
1700	3500	80	60	25
400	1200			30
850	1250			40
60	130			50
170	440			60
600	1400			70
1250	750			80
70	250			90
1000	1200			150

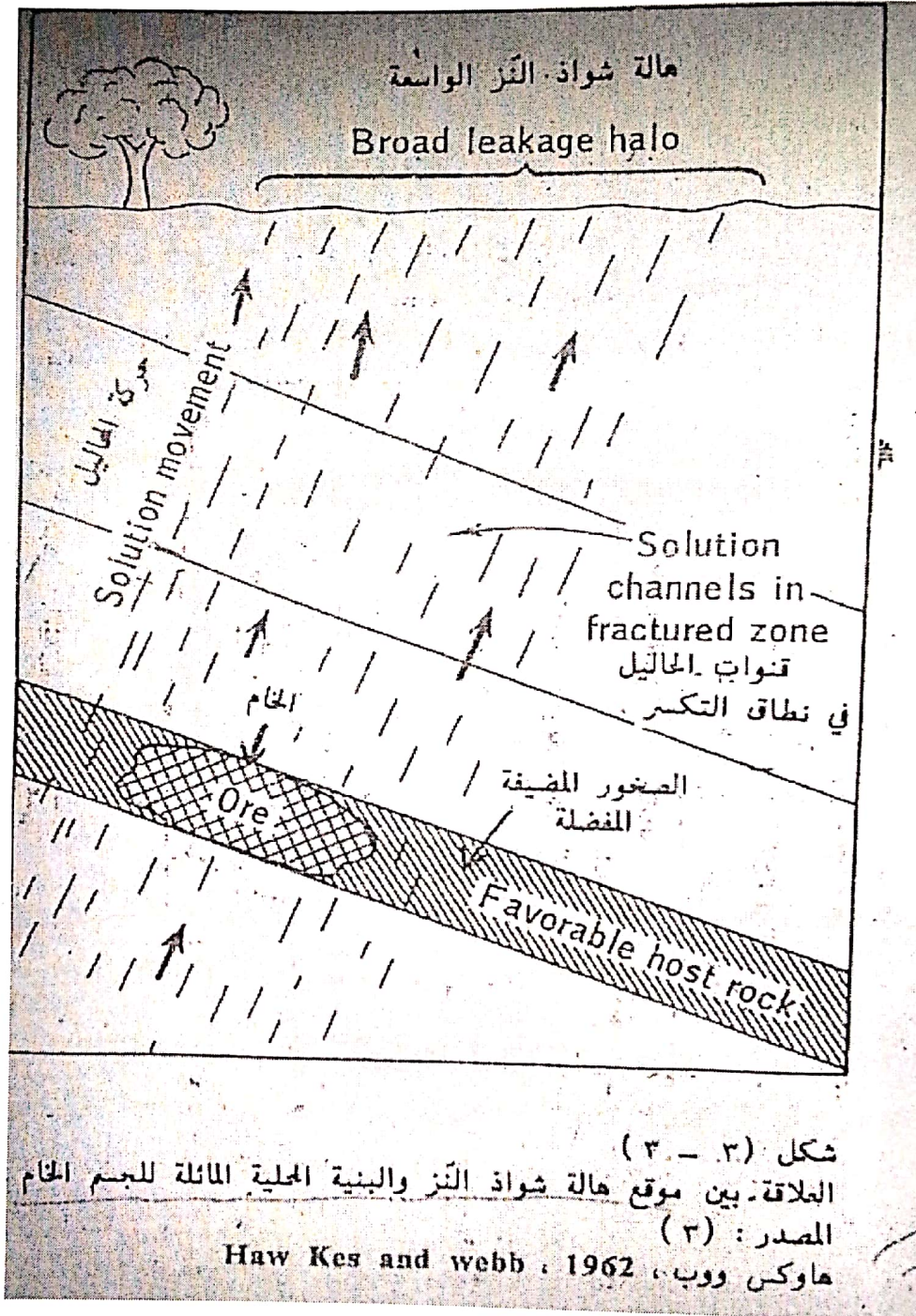
ب- صيغ انتشار التسريب او النز Leakage Dispersion pattern

تمثل هذه الصيغ، انتشار او انتقال العناصر على امتداد القنوات الصدعية الكسور الصغيرة المجهرية او الممرات الاخرى المتجهة من الرواسب الخام وتتكون صيغ انتشار النز خلال (او بعد قليل) من وضع وتكوين الرواسب الخام. ففي بعض الاحيان تمثل هذه الصيغ رواسب السوائل المعدنية المتبقية والمتجهة الى الاعلى بعد ان فقدت الكمية من مكوناتها الكيمياوية بهيئة رواسب خام . وفي احيان اخرى تمثل هذه الصيغ ، المحاليل المعدنية التي ربما كانت متجهة الى تكوين الرواسب الخام الذي تم ازالته بفعل عمليات التعرية. ان هذا النوع من الصيغ يشابه بشكل كامل كافة الجوانب للرواسب الخام ولكن ربما تؤثر هذه الصيغ مرور المحاليل الحرمانية التي افتقرت اما الى الفرصة او القابلية لترسيب تراكيز كبيرة من الفلزات على شكل رواسب الخام ان موقع صيغ الانتشار النز نسبة للرواسب الخام تحت الاعماق يعتمد على الظروف البنيوية المحلية فعندما تتواجد بنية رواسب الخام بشكل عمودي ضمن المتوقع ان تتواجد صيغ انتشار النز يزاح جانبا عن التسقيط العمودي لتجمع الخام كما ان شكل هذه الصيغ تعتمد كذلك على الظروف البنيوية المحلية حيث تتغير من صيغ انتشار متجانسة نوعا ما في الصخور النفاذه التي تعطي الجسم الخام الى صيغ ضيقة ومحددة بالمواقع الواضحة للكسور او الفواصل في مواد في مواد تغطية الجسم الخام .

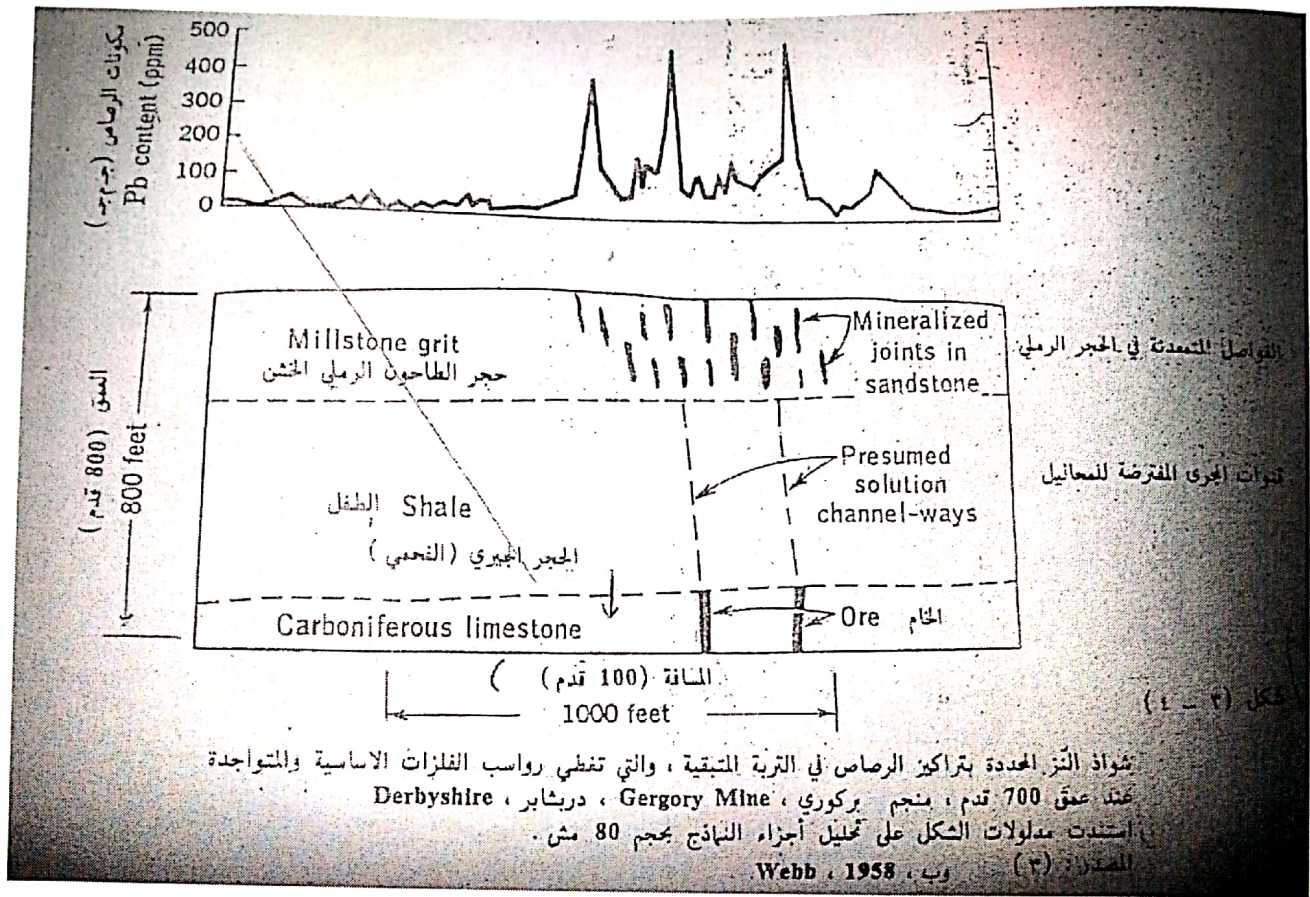
2- صيغ انتشار التنطق في تركيب الجسم الخام Compositional zooming patterns

يستخدم التنطق المعدني ولفترة طويلة كدليل ثابت في الكشف عن الرواسب المعدنية ويمثل التنطق المعدني باختلاف توزيع الميات المناسبة للمعادن الرئيسية المكونة للجسم الخام وبالرغم

من ان التنطق في التركيب الكيماوي (العناصر الثانوية) لا يختلف عن التنطق المعدني الا انه اقل وضوحا ويمكن تحسسه من خلال تحليل النماذج النظامية المختارة من مساحة الجسم الخام وهناك امثلة عديدة على التنطق في مكونات صخور الجسم الخام من العناصر الثانوية ومن هذه الامثلة رواسب النحاس في مشيكان ،امريكا حيث يتواجد تنطق اقليمي بمكونات عنصر As في صخور الجسم الخام وعلى امتداد مسافة افقية تقدر ب (9 اميال)



شكل يوضح العلاقة بين موقع هالة شواذ النز الواسعة والبنية المحلية للجسم الخام (Haw kes and webb)



صيع الانتشار بتاثير الحرارة والضغط على المعادن المتأخرة

ان تاثير الحرارة والضغط على خواص المواد الحاملة لصيع الانتشار هو تاثير ثانوي كما انه في احسن الاحوال تاثير غير مباشر وينعكس تاثير الحرارة والضغط خلال عملية تكوين الرواسب الخام ، على الهياكل المعدنية وعلى بعض العلاقات الكيماوية والنظائر والتي يمكن ملاحظتها في الاطوار المعدنية والكيماوية والنظائرية للمعادن متأخرة التكوين يعتبر تاثير الضغط عادة صغيرا جدا مقارنة بتاثير الحرارة ولهذا يفترض عادة بان التغيرات التي تم ملاحظتها هي نتيجة الاختلاف بدرجات الحرارة فقط وبسبب هذا فان التغيرات المعدنية والكيماوية والنظائرية تدعى بالمحاذير الجيولوجية والتي قد تستخدم كدليل للكشف عن الرواسب الخام في رواسب النحاس البورفيرى بتواجد التغيير المعدني المتضمن تكوين معدن الفلدسبار البوتاسي على حساب معدن السيرسايت بعلاقة موجبة وقوية مع تواجد الخام الرئيسي بالجودة العالية واختلاف تراكيز الحديد في معدن السفاليرايت للنماذج المختارة من منطقة منجم بلمات Balmat ولاية نيويورك ، له علاقة مع الاختلاف بدرجة

الحرارة باتجاه الابتعاد عن المواقع المركزية الحارة وهذا يتصادف مع تواجد الرواسب الخام بدرجة متقاربة من الجودة بالابتعاد عن المركز وتوجد علاقة موجبة بين نسبة نظيري

الاوكسجين O18 : O 16 في الدولومايت الخشنة والمتوسطة الحجم وبين المسافة من الجسم الخام لمنطقة كلمان Gilman كولورادو

السلوك الجيوكيميائي للعناصر في البيئة الرئيسية

ان دراسة السلوك الجيوكيميائي للعناصر في البيئة الرئيسية، يعني دراسة الصيغ التي تتعرض لها العناصر خلال العمليات المكونة للصخور السائدة في البيئة الرئيسية وتمثل هذه العمليات الانصهار الجزئي partial melting ، التحول الاستعاضي التبلور الماكي Magma crystallization و عملية التحول metamorphism والفعاليات الحرمانية Hydrthermal activity تسلك العناصر الرئيسية خلال عملية التبلور الماكي فيعتمد على قابلية هذه العناصر على الدخول في الاطوار المعدنية المتبلورة من الصهير الصخري وحسب سلسلتي التفاعل المستمره واللامستمره لبون حيث تتبلور اولا معادن الاولفين في سلسلة التفاعل اللامستمره ، ومعادن الكالسيوم بلاجيوكليس في سلسلة التفاعل المستمر ويتقدم عملية التبلور تتكون جميع المعادن المكونة للصخور النارية حسب سلاسل تفاعل بون وبالتالي تعاد الطور السائل العناصر امكونة لهذه المعادن اما تبلور العناصر النزره (النادره) خلال عملية التبلور الماكي فيعتمد على قابلية هذه العناصر على الدخول في الاطوار المعدنية المنفصلة من المنهصر الصخري ويمكن تفسير ذلك بالاعتماد على ثلاثة عوامل

1- نصف القطر الايوني

2- الشحنة الايونية

3- نوع الاصرة الكيماوية

فالعناصر النادرة فسوف تبقى في الطور السائل خلال عملية التبلور الماكي ويتركز الجزء الاكبر منها في السوائل المتبقية من عملية التبلور الماكي والغنية بالماء وتواجد المكونات الاخرى مثل Hf و Hcl و co2 تعمل على زيادة الحركة في السوائل السليكاتية المتبقية وربما تؤدي هذه السوائل المتبقية (بمكوناتها من عناصر المرحلة المتاخرة الى تكوين المحاليل الحرمانية ويعتمد تكوين الرواسب الخام من هذه المحاليل على مكوناتها من الماء ، الكلورين، والفلزات الاساسية ، الكبريت حيث تؤدي هذه المكونات الى تكوين معقدات فلزية لها صفات كيميائية تختلف عن الصفات الكيماوية لايونات العناصر الفلزية واهم هذه المعقدات الفلزية هي معقدات الكلوريدات والفلوريدات والكبريتيدات ودراسة هذه المعقدات الفلزية يؤدي الى شرح تكوين الرواسب الحرمانية الخام. ان اعتبار المنهصر الصخري مصدر للفلزات وعناصر المعادن الغته Gangue في الرواسب الحرمانية لايتفق عليها الجيولوجيين وعلى الاقل لجميع

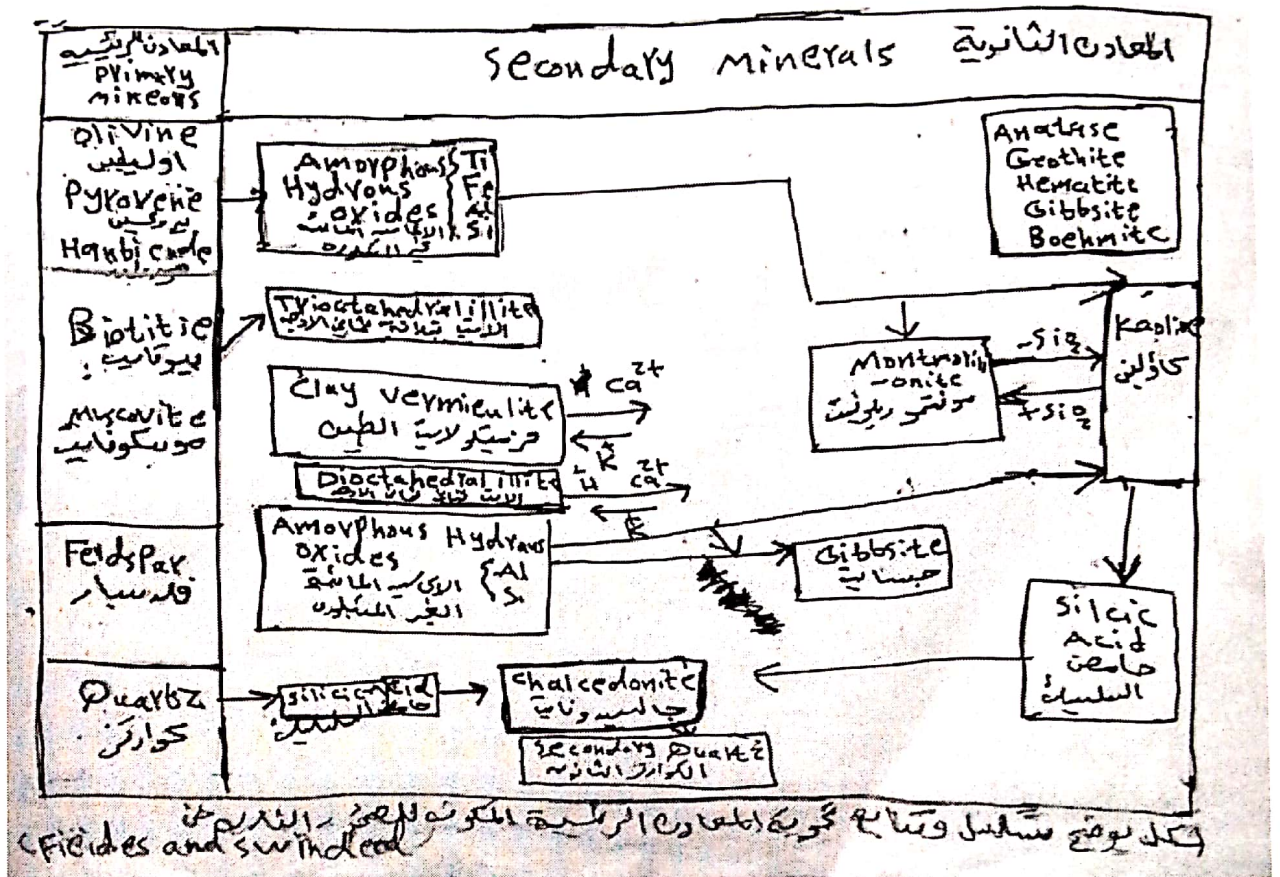
الرواسب الخام حيث ان هناك ادلة واضحة في بعض الحالات كما ان اعتبار الصخور الخاضعة مصدرا لعناصر الرواسب الحرمانية كما ان المكونات الفلزية لبعض الرواسب يعتقد بانها تركزت اولا في سيل البحار وبتأثير الفعاليات الحيوية للكائنات البحرية ومن ثم تاثير العمليات البيوكيميائية والبكتريا واخيرا تركزت العناصر الفلزية من قبل المياه المالحة Brines المتواجدة في نطاق نفاذ او مواقع معدنية بنيونية مثل رواسب pb و zn في الصخور الكربونية في وادي المسيسيبي

البيئة الجيوكيميائية الثانوية عمليات التجوية

تنتقل معادن وصخور البيئة الرئيسية الى البيئة الثانوية من خلال الحركات الارضية وعمليات التجوية والتعرية ويؤدي هذا الانتقال الى فقدان حالة التوازن والاستقرار الذي كانت عليها هذه المعادن او الصخور في ظروف بيئة تكوينها التي تمتاز بارتفاع درجات الحرارة والضغط والحركة المحدد للسوائل وتواجد كميات قليلة نسبيا من الاوكسجين الطليق واما ظروف البيئة الثانوية حيث انها تكون فيها درجات الحرارة والضغط والحركة الطليقة للسوائل وتوفر كميات كبيرة من الماء وثاني اوكسيد الكربون والاكسجين الطليق وفي هذه الظروف تكون المعادن المتكونة عند الاعماق ، البيئة الترسيبية ، غير مستقرة ويطراء عليها كثير من التغيرات بهدف الوصول الى حالة التوازن والاستقرار في الظروف الجديدة للبيئة الثانوية بشكل عام تؤدي الاختلافات في درجات الحرارة والضغط والمكونات الكيماوية الى تكوين اطوار جديدة تمتص هذه الاختلافات فمثلا زيادة الضغط على معدن الكوارتز يؤدي الى تكوين معادن السليكا بوزن نوعي كبير نسبيا معدن الكوسايت Coesite (وزنه النوعي 3.01) ومعدن الشيسوفاييت stishovite (وزنه النوعي 4.35) وتأثير انخفاض درجة الحرارة على الصيغ العالية الحرارة لمعدن الكوارتز والتريديمايت tridymite والكريستوبالايت cristolalite يؤدي الى تكوين الصيغ المنخفضة الحرارة لهذه المعادن وزيادة تركيز ايون الخارصين

عن (107 جزء بالمليون) في المياه الطبيعية لمنطقة رواسب Zns يؤدي الى ترسيب معدن السميثونايت (Znco3) في حالة توفر الظروف الملائمة. ان المعادن المكونة للصخور النارية في قابليتها على مقاومة التجوية تكون مختلفة فالمعادن مبكرة التبلور من الصهير البازلتي لها مقاومة اقل لعمليات التجوية نسبة للمعادن المتأخرة التبلور ولغرض التمثيل الكمي لقابلية مقاومة المعادن لعمليات التجوية ، فقد تم حساب معامل جهد التجوية Weathering potential index لمختلف المعادن كما سوف يوضح في جدول خاص وبشكل عام يمكن تمييز نوعين رئيسيين من التجوية وهما التجوية الكيماوية والتجوية الفيزيائية وحيث ان التجوية الكيماوية اكبر تأثيرا

على مكونات الصخور نسبة للتجوية الفيزيائية وغالبا ماتساعد العوامل الحياتية هذه النوعين من التجوية وحيث ربما تؤثر هذه العوامل وبشكل متزامن مع كل من النوعين من التجوية



معامل جهد التجوية (WPI)

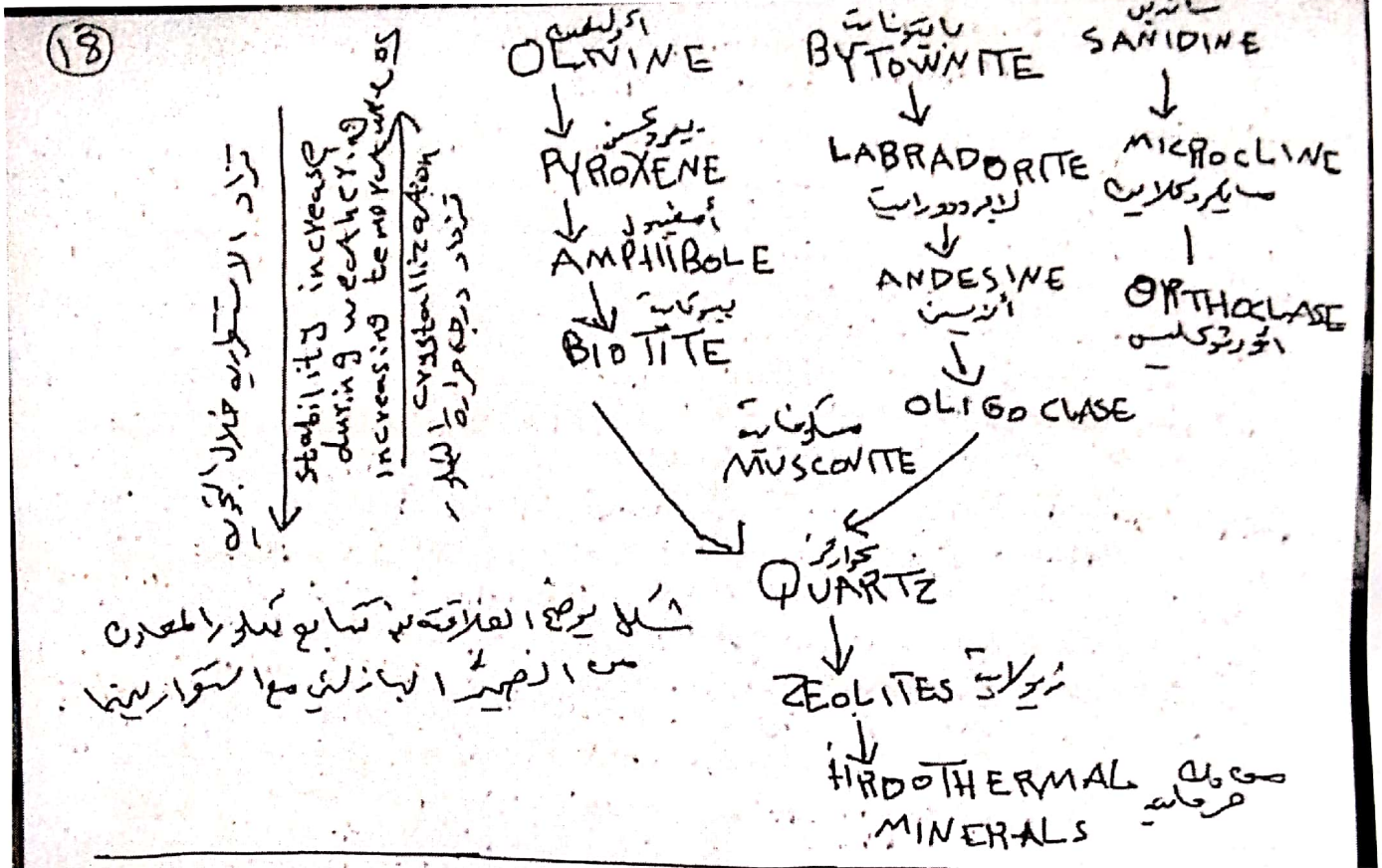
$$WPI = 100 \times \frac{\text{moles (Na}_2\text{O) + K}_2\text{O + CaO + MgO + SiO}_2}{\text{Moles (Na}_2\text{O) + K}_2\text{O + CaO + MgO + SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

(عن Loughman)

جدول يوضح معامل جهد التجوية (WPI) لعدد من المعادن المختارة

WPI	المعدن	WPI	المعدن
22	Biotite بايوتايت	66	Forsterite فورسترايت
17	Leucite لوسايت	54	Olivine اوليفين
13	الباييت	50	Walstonite ولاستونايت
12	اورثوكليس	50	Diopside دايبوسايت
0	Quartz كوارتز	40	Tremolite ترومولايت
0	Sillimanite سليمنايت	39	Augite اوجايت
10.7	موسكوفاييت Muscovite	25	Talc تالك
-17	Analcite انالسايت	25	Nepheline نيفيلين
-20	بيروفلايت	25	Anorthite انورثايت

	Pyrophyllite		
- 67	Kaolinite كاولينيت	23	Epidot ابيدوت
- 300	Boehmite بوهميت		
- 300	Gibbsite جيبسايت		



تبدأ عمليات التجوية بتقدم التفتت وتحلل الصخور في مواقعها بفعل المؤثرات الفيزيائية والكيميائية ومساعدة الفعاليات الحيوية بشكل مباشر أو غير مباشر وتعتمد نسبة مشاركة المؤثرات الفيزيائية والكيميائية والفعاليات الحيوية في عمليات التجوية على البيئة التي تؤثر فيها هذه العمليات ففي البيئة الجافة الصحراوية أو المناطق المتجمدة وكذلك المناطق ذات التضاريس الحادة يكون تأثير التجوية الكيميائية هو الغالب في تحديد طبيعة النواتج المتكونة في جميع مواقع نطاق التجوية غير أن تأثير العوامل الحياتية يكون محدوداً بنطاق التربة القريبة من السطح بشكل عام تؤدي عمليات التجوية إلى تكوين النواتج الكيميائية الخاصة لها ويتمثل خليط المعادن الجديدة والمعادن المقاومة والمواد العضوية المتواجدة على سطح الأرض بالريولايت ويتأثر

العمليات الحيوية، يتفاضل هذا الخليط الى طبقات او مقاطع تمثل مقاطع التربة ويمكن لهذا الخليط في أي مرحلة من مراحل التجوية ان يتعري، ينتقل او يترسب في مواقع الاحواض الترسيبية

جدول يوضح النواتج الطبيعية لعمليات التجوية بالاضافة الى التغيرات الفيزيائية التي تطرأ على الصخور الاصلية عن (Brownlow)

$H_4SiO_4, Mg^{2+}, K^+, Ca^{2+}, Cl^-, So_4, HCO_3^-$	المكونات الذائبة
مكثبات، كوارتز، زركون، جارنت، روتيل، تورمالين، وسفين	المعادن الرئيسية المتبقية
كاولينايت ومنتوموريللايت، كلورايت، هيماتايت، جوثايت، جبسايت، بوهيماتايت، دياسبور، السليكا المتبلورة، بيرولوسايت الحوامض العضوية مواد الهيومس، كيروجين	المعادن الثانوية (الجديدة)
الحوامض العضوية، مواد الهيومس، كيروجين	المركبات العضوية

اما المكونات الذائبة فتنتشر وبشكل اساسي في مسارات المياه لانظمة التصريف وفي التربة وخلال العمليات الحياتية للنباتات وخلال هذا الانتشار يمكن ان تغير بسلوكها ايونات بعض العناصر المتصاحبة في البيئة الرئيسية حيث تترسب في مناطق متباعدة بعضها عن بعض اما ايونات البعض الاخر من العناصر فتبقى في المحاليل والتي تمثل فيما بعد المكونات الذائبة لمياه البحار والمحيطات تعتبر البيئة الثانوية ذات اهمية كبيرة جدا في الاستكشاف الجيوكيميائي بسبب ان معظم برامج الاستكشاف تعتمد على نماذج البيئة الثانوية (تربة رواسب مياه) كما ان الانتشار الثانوي يحدث على مساحة اكبر نسبيا مقارنة بالانتشار الثانوي

التجوية الكيميائية Chemical Weathering

تتضمن التجوية الكيميائية تحطيم الصخور والمعادن بفعل كيميائي وانتشار العناصر المتحررة خلال الوسط المائي (عادة) ولمسافات متفاوتة عن المصدر يتطلب هذا النوع من التجوية توفر المياه والمواد الذائبة فيها وثنائي اوكسيد الكربون والاكسجين الطليق والمواد العضوية والتي بمجموعها تؤثر من خلال تفاعلات كيميائية معينة على الصخور المتواجدة عند او بالقرب من سطح الارض وتكون لهذه التفاعلات القدرة في احداث تغييرات متفاوتة في المكونات المعدنية للصخور وفي الحالات المتطرفة تصل التغيرات الناتجة في التركيب والصفات والنسيج الى الحد الذي بمجموعه بالكامل تقريبا الصيغة الاصلية للصخور الام
مثال:

عند الظروف الملائمة يمكن ان تتحول الصخور النارية الخشنة التبلور الى خليط من المعادن الطينية الناعمة جدا وربما تذوب وتغسل الصخور الجيرية والدولومايت بالكامل تاريخ ه جزءا متبقيا يمثل الفضالة الغير ذائبة او ربما يتكون اوكسيد الحديد المائي واوكسيد الالمنيوم (لاترايت Bauxite, Laterite , والبوكسايت او كاربونات الكالسيوم (كاليجي caliches ، كالكريتي calcrete وبسبك ملحوظ على حساب عدد من الصخور المختلفة

بشكل عام ، تتسلسل المعادن المكونة للصخور حسب مقاومتها للتجوية الكيماوية كالاتي

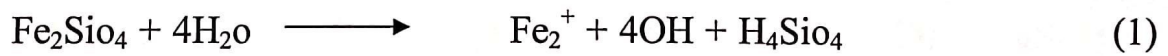
كبريتيدات Sulfide > كاربونات Carbonate > اوكسيدات Oxides
سليكات Silicates

بسبب سهولة توفير ظروف التجوية الكيماوية في المختبرات والمتمثلة بدرجات الحرارة والضغط المنخفضين وتوفر المياه وثاني اوكسيد الكربون والاكسجين الطليق يمكن دراسة ومتابعة النواتج الحقلية للتجوية الكيماوية تجريبيا في المختبرات لهذا يعتقد بان التجوية الكيماوية من العمليات الجيوكيماوية المفهومه بشكل مناسب وبالرغم من ان هذا صحيح لكثير من الحالات الا ان هنالك بعض التغييرات الناتجة من تصاحب المؤثرات الفيزياوية والحياتية مع التجوية الكيماوية مثال انتفاخ بعض المعادن بسبب امتصاصها للماء مما يؤدي على تفاعلات التجوية الكيماوية يضاف الى هذا فان تفاعلات التجوية الكيماوية البطيئة جدا وعلى الاخص التفاعلات التي تحدث عند درجات الحرارة المنخفضة يصعب تمثيلها في المختبر

تفاعلات التجوية الكيماوية :

اولا: التحلل المائي Hydrolgesi

تعتبر تجوية المعادن السليكاتية بالاساس تفاعلات تحلل مائي والمثال البسيط على هذه التفاعلات هو التحلل المائي لمعدن الاولفين الغني بالحديد (فايلايت Fayalite عند الحامضية (7) كما في المعادلة التالية :



بزيادة تأثير المياه على المعادن السليكاتية بزيادة حموضتها ، مثال : مياه الامطار في حالة توازن مع ثاني اوكسيد الكربون لها دالة حامضية (5.7) ومياه الامطار في المناطق الصناعية لها دالة حامضية تصل الى (3) ومياه المناطق ذات الفعاليات البركانية والمياه القريبة من عروق الكبريتدايت لها دالة حامضية وهذه الانواع من المياه لها فاعلية كبيرة خلال التجوية الكيماوية للمعادن السليكاتية اما تفاعلات التحلل المائي الاكثر تعيقدا فيمكن تمثيلها بالتحلل المائي لمعدن الارثوكليز وحسب المعادلة التالية:

يتضح من المعادلة 1 و 2 زيادة الدالة الحامضية للمياه التي على تماس وباستمرار مع الصخور النارية ، غير ان هذه الزيادة لاتصل الى اكثر من وبسبب تفاعل جذر الهيدروكسيد مع عدد من اشكال السليكا الناتجة من هذه التفاعلات

تتضمن التجوية الكيميائية لمعادن الكربونات كذلك تفاعلات التحلل المائي وكما هو واضح في المعادلة الاتية التي تمثل التحليل المائي لمعدن الماجنتايت Magnetite حيث تزداد الدالة الحامضية للمياه الملامسة للصخور الكربونية



ثانياً: الاكسدة Oxidation

تعتبر تفاعلات الاكسدة هي الغالبة خلال عملية التجوية وبالتالي فهي مهمة في الاستكشاف الجيوكيميائي ويعتبر فهم تأثير هذه التفاعلات على عناصر الحديد والمنغنيز والكبريت اساسية لتوضيح دور تفاعلات الاكسدة في الاستكشاف الجيوكيميائي وذلك بسبب ان هذه العناصر الثلاثة هي الاكثر تواجدا بالمعادن المكونة للصخور والرواسب الخام والتي يتاثر بتفاعلات لاكسدة وتتصاحب عادة تفاعلات الاكسدة مع تفاعلات التحلل المائي hydrolysis ، التميؤ hydration و الكربنة Carbonation

مثال تفاعل الاكسدة لمعدن الفايلايت مع المياه التي تحتوي على اوكسجين او هواء مذاب وحسب المعادلة الاتية



ويتأكسد معدن السيدرايت Sederite حسب المعادلة الاتية :



ويؤثر حامض الكربونيك المذاب في الماء في اكسدة معادن الحديد الانفة الذكر ، اما بالنسبة لعنصر المنغنيز فانه يتأكسد بطريقة مشابهة لأكسدة الحديد مع بعض التعقيدات الناتجة من تواجد المنغنيز بثلاثة صيغ ايونية

Mn+2 , Mn3+ , Mn+4 حيث يكون Mn+4 اكثر استقرارا والمعادلات التالية توضح اكسدة بعض معادن المنغنيز :



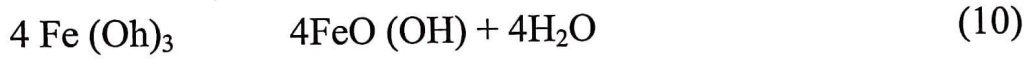
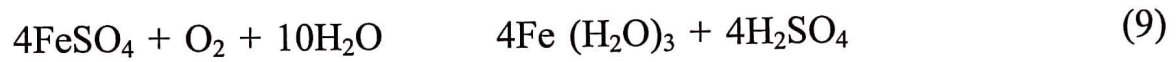
(رودونايت) Rhodonite

M



Rhodochrosite

وتعتبر تفاعلات اكسدة الكبريت اكثر اهمية في الاستكشاف الجيوكيميائي حيث يتواجد الكبريت S⁻² في ظروف البيئة الرئيسية وكما هو الحال لعنصر المنغنيز ، حيث يتواجد الكبريت بعدد من الصيغ الايونية S⁰ + S⁺⁶ ويعتبر S⁺⁶ اكثر استقرارا والمعادلات الاتية توضح تاكسد معدن البايرايت Pyrite ومعدن الماركسايت Marcasite والتي يعتبر اكثر معادن الكبريدات تواجدا في الصيغة:



وبإضافة المعادلات اعلاه الى بعضها نحصل على المعادلة التالية :



ويمكن ان تستمر هذه التفاعلات وذلك من خلال اكسدة حامض الكبريتك لمعدني البايرايت والماركسايت حسب المعادلة التالية كما ان اكسدة كبريتات الحديدوز الناتجة من المعادلة 1 تؤدي الى تكوين حامض الكبريتك كما في المعادلة (1)

ان وجود حامض الكاربونيك المذاب في الماء يساعد على اكسدة كبريتات المعادن الكبريتيدية والمعادلة التالية توضح اكسدة معدن الجالينا Galaena وتكوين معدن السيروسايت (Cerussite) :



ثانياً: التميؤ Hydration

ان عملية التميؤ هي عبارة عن اتحاد جزيئات الماء مع بعض المعادن ، الذي يؤدي الى تغيير التركيب المعدني للمعدن الاصلي

مثال:

إضافة جزيئة ماء الى اوكسيد الحديدك (معدن الهيماتايت Hematite) ، حسب المعادلة الاتية :



هيماتايت (ليمونايت)

كذلك اضافة جزيئتين من الماء الى معدن الانهيدرايات

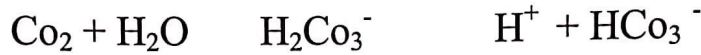


Anhydrite Gypsum

ويتميز هذان التفاعلان بسرعتهما البطيئة بسبب تواجد معادن طرفي هذين التفاعلين

رابعا : الكربنة Carbonation

هو تفاعل المعادن مع حامض الكربونيك الناتج من اذابة ثاني اوكسيد الكربون (الموجود في الجو او التربة) في المياه وحسب المعادلة الاتية :



وايون الهيدروجين الناتج من تحلل حامض الكربونيك ، يساعد في تحلل المعادن

مثال: تفاعل حامض الكربونيك مع معدن الكاسايت حسب المعادلة الاتية



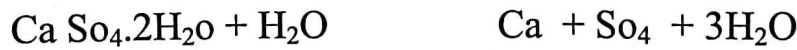
كالكاسايت

خامسا: التأين Ionization

يتضمن ذوبان المعادن وانتقال مكوناتها من العناصر الكيمياوية الى المياه وعلى هيئة ايونات ذائبة ومستقرة. مثال: تأين معدن الهالايت halite حسب المعادلة الاتية:



وتأتي معدن الجبس Gypsum حسب المعادلة الاتية



وتختلف تراكيز ايونات العناصر الذائبة في المياه باختلاف نوعية المعادن وتعرف كمية العناصر الذائبة ب حاصل الذوبان (Solubility product) ويبلغ حاصل الذوبان لمعدن الكالكاسايت في المياه المقطرة

(4.5×10^{-9}) ولمعدن السيدرايت Siderite (2.0×10^{-11}) ولمعدن الاركونايت)

(6.0×10^{-9} Aragonite)

التجوية الفيزيائية

بصورة عامة تلعب التجوية الفيزيائية دورا ثانويا في عمليات التجوية على سطح الارض ، لكنها سمية مهمة لسببين الال عام ، حيث تهيء التجوية الفيزيائية الصخور للعمليات اللاحقة الاقوى فعالية والخاصة بالتجوية الكيمياوية (باستثناء المناطق الجافة) وذلك من خلال زيادة المساحة

السطحية للصخور والمعرضة للتأثيرات الكيماوية والثاني خاص بالمناطق التي تكون فيها التجوية الكيماوية غير فعالة كما في المناطق الباردة جدا او المناطق الجافة جدا وكذلك في المناطق ذات التضاريس الحادة وعلى عكس التجوية الكيماوية تؤدي التجوية الفيزيائية الى تفتيت الصخور مع تغيير ضئيل (احيانا دون تغيير) تركيبها الكيماوي تعتبر تكوين مجاميع الكسور والفواصل في الصخور اولى المراحل التجوية الفيزيائية حيث تنتج هذه المجاميع ازالة الغطاء الصخري بتفريغ الحمولة بتأثير عمليات التعرية

ان ازالة الجهد stress من هذه الصخور يؤدي الى بلورة المعادن المكونة لها بالتمدد باتجاهات ومعدلات مختلفة مما ينتج عنه تركيز بهد القص Shear stress عند حدود حبيبات المعادن والذي ينعكس بهيئة كسور باتجاهات الواجهة البينية لتبلورات المعادن كما يعيق بان الشقوق يمكن ان تتكون بسبب التمدد والتقلص للصخور نتيجة الاختلافات في درجات الحرارة غير ان هذا الاعتقاد لا يؤخذ به بنفس القوة التي طرح به سابقا بسبب الجهد المتكون بهذه الطريقة وعلى الاقل بالنسبة لصخور الكرانيت ومهما يكن سبب تكوين الشقوق فان هناك عددا من القوى التي يمكن تكوينها والتي ربما تؤثر مع بعضها البعض على توسيع الشقوق وبالتالي زيادة تكسير الصخور فمثلا في المناطق الباردة ذات المعدلات العالية من الامطار كما ان الشقوق المتكونة من الانصهار والانجماد المتعاقب للماء سوف تتوسع بالنهاية وتصبح مهينة لعمليات التجوية الكيماوية اما في المناطق الصحراوية التي تفتقر لتواجد المياه يلعب عامل الرياح دورا اساسيا في التجوية الفيزيائية والتعرية

التجوية الحياتية

تعتبر التجوية الحياتية احدى مراحل التجوية الفيزيائية والكيماوية ولا يمكن فصلها عن بعضها البعض ولكن يعتبر دور العوامل الحياتية في التجوية الكيماوية اكبر تأثيرا واهمية من دور هذه العوامل في التجوية الفيزيائية حيث لا يتعدى هذا الدور في التجوية الفيزيائية عن خلط وفرز لمواد الصخور القريبة من السطح من قبل الحيوانات كالديدان الارضية والقوارض ، كذلك توسيع الشقوق الموجودة في الصخور من خلال تغزير جذور النباتات وبالتالي زيادة نفاذية هذه الصخور مما يسمح دخول لها الماء والهواء وتعجيل عملية التجوية الكيماوية اما دور الفعليات الحياتية في التجوية الكيماوية فيكون باتجاهين:

الاول:

تكوين مواد كيماوية عضوية ولاعضوية (حوامض ، قواعد ، غازات) لها دور مؤثر في التجوية الكيماوية

مثال على ذلك :

عند الظروف المحلية تعتبر الحامضية العالية المتكونة عن نهايات جذور النباتات ، كمؤثرات قوية في التفطيت الكيماوي للصخور وكما ان الاوكسجين وثنائي اوكسيد الكربون اللذان تضبطهما عملية التنفس للنباتات من اكثر اهمية ، عملية التجوية الكيماوية وان توفر انسجة النباتات تعتبر مواد اولية لعدد من المركبات العضوية التي تشارك مباشرة في التفاعلات الكيماوية لعملية التجوية وتلعب البكتريا والفطريات دورا اساسيا ومسؤلا في اكسدة المعقدات العضوية التي ينتج عنها بالنهاية الماء وثنائي اوكسيد الكربون

الثاني :

اكسدة او اختزال بعض العناصر الكيماوية المكونة للمعادن من قبل بعض الاحياء المجهرية ، والتي تتغير من قابلية ذوبان وانتشار هذه العناصر في الوسط الناقل لعملية التجوية . وتلعب الاحياء المجهرية دورا بارزا في الدورة الجيوكيماوية لعدد من العناصر فبعض انواع البكتريا التي تعيش في وسط حامضي $pH=2-3$ لها القابلية على اكسدة او اختزال عدد من العناصر الكيماوية المكونة للمعادن فالبكتريا من جنس فيروباسيلوس *Ferro bacillus* لها القابلية على اكسدة الحديدوز والبكتريا من جنس ثايوباسيلوس *Thio bacillus* لها القابلية على اكسدة معادن الكبريتيدات والانواع الاخرى منها لها القابلية على اكسدة مركبات الكبريت المختزلة الى كبريتات اما البكتريا من جنس ثايوباسيلوس فيرواكسيداس

Thio bacillus Ferro oxidans

لها القابلية على اكسدة مركبات الحديد والكبريت في حين ان البكتريا من جنس ثايوباسيلوس

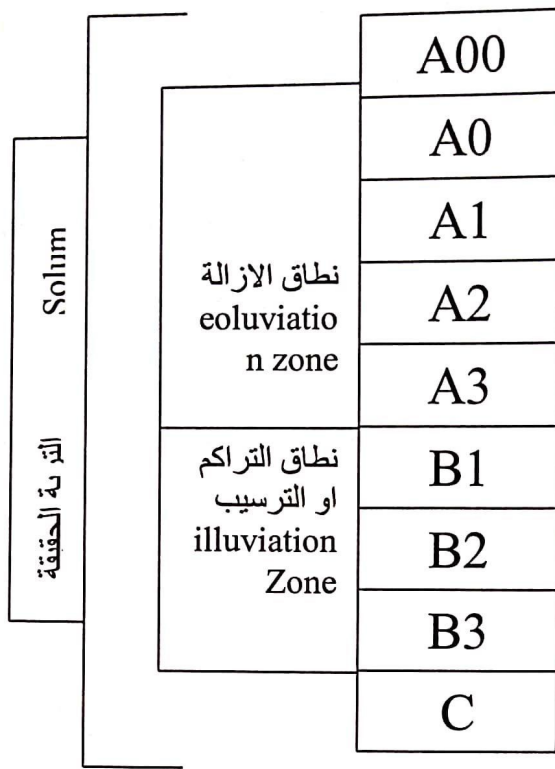
Thio bacillus thio oxidans ثايواوكسيدانس

والموجود في التربة لها القابلية على اكسدة المنغنيز من $+2$ الى $+4$ وهذا ربما يعتبر الافتراق النسبي لتواجد المنغنيز عن الحديد في الطبيعة والبكتريا اللاهوائية من جنس ديسلفوفايبرخ *Desulfobibro* وديسلفوتونكولم *Desulfotomculum* لهما القابلية على اختزال جذور الكبريتات الذائب في الماء (مثلا) الى غاز كبريتيد الهيدروجين الذي يؤدي الى تكوين كبريتيد بعض العناصر الذائبة في المياه مما يغير معدلات ذوبان ايوناتها في الماء

التربة

تتواجد التربة على مساحة واسعة نسبيا من سطح الارض حيث تغطي 72% على الاقل من مساحة اليابسة الارض باستثناء المساحات المغطاة بالثلج والمياه الجديدة والمناطق دائمة التجمد *Permafo* وتختلف التربة في مكوناتها وسمكها باختلاف الظروف ظروف مناطق تكونها وبالتأكيد تتواجد بانواع متعددة وتنفرد التربة عن المواد الصخرية الاخرى لسطح الارض

بترتيب مكوناتها وصفاتها مع العمق وعلى شكل افاق (طبقات) لها علاقة بالسطح الحالي للارض كذلك تنفرد التربة ومن خلال الفعليات الحياتية بقابليتها على مساعدة النباتات على النمو وبشكل اكبر بكثير من الصخور الام المسؤولة عن تكوين التربة . توصف الاختصاصات المختلفة من المعرفة العلوم ذات العلاقة ، التربة ، من خلال عدد من التعاريف التي تؤكد الجوانب المهمة لهذه الاختصاصات اما في الاستكشاف الجيوكيميائي فان التربة تعرف بانها الرواسب الطبيعية المتكونة من المعادن والمواد العضوية المتفاضلة بشكل افاق وتتواجد باعمق متفاوتة والتي تختلف عن المواد الصخرية تحتها بالشكل والمكونات الفيزيائية والتركيب الكيميائي والمميزات الحياتية وتحتوي اكثر مقاطع التربة Soil profile على ثلاثة افاق رئيسية تعرف بالاحرف (من الاعلى الى الاسفل) A, B, C, بالاضافة الى D التي تمثل صخور الام الغير مجواة وتشكل الافاق A, B, التربة الحقيقية ، Solym, True, Soil بينما يمثل الافاق C المواد الاولية التي تكونت منها التربة من خلال عمليات تكوين التربة وحيث ان المقطع المثالي للتربة هو الذي توجد فيه انواع الافاق غير ان هذا لايعني بالضرورة توفر جميع الافاق في جميع مقاطع التربة فالتربة الغير الناضجة لمادة تفتقر لتواجد افق B والتعرية قد تؤدي الى ازالة الافاق العليا A, B, وظهور افق C, على السطح بشكل عام ، تحدد الظروف المختلفة للمنطقة المعينة مقطع التربة من ناحية عدد الافاق والسماك والمكونات والصفات الفيزيائية والكيميائية والتركيب وتمتيز عن بعضها البعض بحود فاصلة وواضحة وغالبا ماتحتوي الافاق الرئيسية على افاق ثانوية حيث تشير الدراسات التفصيلية لمقاطع التربة الى التقسيم الثانوي للافاق الرئيسية والتي تتعرف بالاحرف والارقام A0, A1 A, B1, B2, B3 C C C غير ان التعرف على هذه التقسيمات الثانوية غير مهم في الاستكشاف الجيوكيميائي باستثناء A1, A2 (Hawkes and webb) (A00) بقايا المواد العضوية والاوراق الساقطة المتحللة جدا و(A0) بقايا المواد العضوية المتحللة جزئيا و(A1) طبقة اللون الغامق والتي تحتوي على خليط من المواد العضوية والمواد المعدنية و (A2) طبقة اللون الشاحبة وتمثل نطاق اعلى درجات الازابة و (B1) الانتقال الى B ولكنه تشبة (B) اكثر من A ولايتواجد بشكل دائم و (B2) طبقة اللون الغامق وبشكل عام تمثل اعلى درجات التراكم والترسيب و B3 الانتقال الى (C) نطاق تجوية الصخور



شكل يوضح مقطع تخطيطي للتربة (عن Siegel)

تكوين ونمو التربة (Soil Formation)

ان التربة تمثل بالمفهوم البسيط انها الجزء الاعلى من الريكوليث (Reolith) المتطبق وهذا يشير الى ان التربة والعمليات التي تؤدي الى تكوينها لا يمكن فصلهما او تجزئتهما من عمليات التجوية بسبب تداخلها وعدم تميز بعضها عن البعض الاخر وتؤثر عملية التجوية وتكوين التربة بشكل متزامن بحيث تمهد الاولى للثانية ولهذا تعتبر التربة نواتج لاحق لعمليات التجوية يمكن استعراض تكوين التربة من خلال عمليتين متزامنتين الاولى تتضمن توفير المواد الاولية لتكوين التربة (افق 2) بينما تهتم الثانية بتفاصيل هذه المواد باتجاه تكوين افاق مقطع التربة وتظهر اولى مراحل تكوين التربة بهيئة افق ضعيف A ل نتيجة الانتشار العمودي والافقي للعناصر الكيماوية والحبيبات المنقولة بتاثير التغيرات الفيزيائية والتحلل الكيماوي للمواد العضوية ويستمر نمو افق A على حساب نطاق C وباستمرار تقدم ازالة وانتقال مكونات افق A حيث تتفاعل المحاليل الحامضية المتحركة نحو الاسفل مع المكونات المعدنية ل A محررة مواد ذائبة ومواد غروية ومواد صلبة وتنتقل هذه المواد نحو الاسفل خلال حركة الوسط المائي الناقل تتكون المحاليل الحامضية في التربة من تفاعل مياه الامطار المترشحة خلال عمود التربة مع المواد العضوية المتحللة وهذا يؤدي الى تكوين حامض الكربونيك وحوامض عضوية مما يخفض

الدالة الحامضية لهذه المياه الى (3) او اقل بالرغم من ضعف هذه الحوامض الا ان تكوينها بشكل مستمر نتيجة تحلل الهيومس Humus يجعل منها ذات تاثير كبير على ازالة وانتقال المواد المشار اليها في اعلاه من افق A وتدعى هذه الازالة والانتقال بعملية eluvation وهي عملية مميزة لافق A ولهذا يمكن القول بان افق A عانى كثيرا من عملية eluviation خلال مراحل تكوين التربة وبعد اكمال نمو فان افق A ، يبداء افق B بالنمو ولكن في بعض الحالات ربما يتكون الافقان معا وعلى العكس من افق A ، فان افق B يمثل نطاق الترسيب او التراكم الذي يدعى بنطاق illuviation والذي يمثل نطاق ترسيب المواد المنقولة من طبقة A مثل المعادن الطينية والاكاسيد الاحادية النصفية seccqui وربما تنتقل هذه المواد خارج نطاق التربة من خلال حملها في المحاليل تهينة مواد ذائبة او عالقة لنظام مياه المنطقة

الصفات الفيزيائية والكيميائية لافاق التربة

يتميز المقطع العمودي للتربة بالتطبيق أي تواجد التربة على هيئة افاق متتابعة تختلف فيما بينها في الصفات الفيزيائية والكيميائية وباستثناء الاختلافات في اللون والنسيج التي تعتمد على الاعمال الحقلية لها بهدف تشخيص هذه الافاق ، فان الصفات الاخرى ، مثل الدالة الحامضية ، كمية المواد العضوية ، المكونات القاتبية وانواعها وكمية الاكاسيد الاحادية النصفية التي تشرح توزيع وانتشار العناصر الفلزية في افاق مقطع التربة ، وبالتالي ذات اهمية كبيرة في الاستكشاف الجيوكيميائي ويمكن شرح هذه الصفات كما يلي

الدالة الحامضية pH

يمكن ملاحظة تطبيق ذلك في مقطع تربة البذول وبشكل عام فان الافاق العليا A0, A1, A2 لها قيم منخفضة من الدالة الحامضية نسبة الى الافاق B1, B2 , C وهذا يفسر تكوين الحوامض العضوية والاعضوية في الافاق العليا وعلى وجه الخصوص افق A2 الفاتح اللون حيث تصل قيمة الدالة الحامضية فيها اقل مما يمكن مما يشرح سبب تمثيل هذا الافق بنطاق اعلى درجات الازالة eluviation واما ارتفاع قيم الدالة الحامضية في افق B , C يؤشر انخفاض تكوين وتأثير الحوامض على مواد تربة الافق B, C

المكونات العضوية:

من المتوقع ان تحتوي الافاق العليا من A باللون الغامق على تراكيز عالية من المواد العضوية الى احتواء افق A0 على اكبر كمية من المواد العضوية لذلك يعرف الافق A0 بافق المواد العضوية (هيومس) وبسبب قابلية المواد العضوية على احتواء العناصر الفلزية ، فان نشاط

التبادل الايوني لافق A0 عال نسبيا وهذا يشرح الاغناء النسبي لهذا الافق بالعناصر الفلزية الاساسية اما الارتفاع النسبي بكمية المواد العضوية في افق B ربما يشير الى تراكم او ترسيب لكن المواد العضوية في هذا الافق والمنقولة في افق A

المكونات الفتاتية :

تختلف المكونات الفتاتية كما ونوعا باختلاف افاق مقطع التربة وظروف تكوينها بشكل عام ، تتواجد المعادن الطينية في افق B بكميات كبيرة نسبة للافاق الاخرى من مقطع التربة ويمكن تفسير تواجد المعادن الطينية في افق B من خلال عملية eluviation المؤثرة على افق A والتي تؤدي الى ازالة وانتقال المعادن الطينية من افق A باتجاه الاسفل حيث تترسب وتتراكم في افق B من خلال عملية illuviation السائد في هذا الافق وبسبب القابلية العالية للمعادن الطينية على التبادل الايوني وبالتالي اغتنائها بالعناصر الفلزية ، يجعل اختيار نماذج تربة افق B مفضلا في الاستكشاف الجيوكيميائي. ان طبيعة المعادن الطينية المتكونة في التربة، ربما يعتمد على ظروف بيئة التجوية اكثر من طبيعية المواد الاصلية فالبيئة ذات الحامضية القليلة والجو الحار والمعدلات العالية من الامطار تساعد على تكوين معدن الكاولينيات ويتكون معدن المونتورولايت والالايات illite فيكون في بيئة مشابهة لتكوين معدن م المونتورولايت مع اضافة عامل توفر عنصر البوتاسيوم ، ولهذا يعتقد بان معدن الالايات هو نتيجة تجوية الصخور الغنية بالبوتاسيوم بشكل عام يحتوي افق A على مكونات فتاتية يتمثل اساسا بالرمل والغرين بكميات اقل من الطين اضافة الى توفر المواد العضوية اما افق B فيكون بالدرجة الاساس من الغرين والطين

المكونات من الاكاسيد الاحادية النصفية واوكسيد السليكون

يعكس الاختلاف بكميات تواجد الاكاسيد Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 في افاق التربة اهمية تأثير عمليات الازالة eluviations وعمليات التراكم او الترسيب illuviations في افاق التربة B A ، على التوالي ، حيث يبقى ويتركز SiO_2 في افق A نتيجة مقاومتها لعمليات الازالة بينما تنتقل الاكاسيد Fe_2O_3 , Al_2O_3 من افق A بسبب عمليات الازالة للمياه المترشحة خلال عمود التربة وبالتالي تركمها او ترسيبها في افق B المتمثلة بعملية التراكم من illuviations وبسبب قابلية اكاسيد الحديد والمنغنيز على احتواء العناصر الفلزية يتاثر الترسيب المتصاحب Co-precipitation فان الكمية الكبيرة نسبيا لتواجد اوكسيد الحديد في افق B يشرح غناء هذا الافق بالعناصر الفلزية