

Düşük Tenörü Altın Cevherlerine Uygulanan Liç Yöntemi

Gülhan ÖZBAYOĞLU*

1 – GİRİŞ :

Son yıllarda altın fiyatlarında görülen - sırası derecedeki artmalar, gerek Amerika'da, gerekse bütün dünyada altın madenlerine olan ilgiyi yeniden arttırmıştır. Eski altın madenleri yeniden işletmeye açılmış, yeni yatakların keşfi için de yoğun çalışmalara girişilmiştir. Bilhassa eskiden işletilmesi ekonomik olmayan düşük tenörü cevherler, bugün önem kazanmışlardır. Aşağıdaki tablo altın fiyatlarında görülen bu hızlı değişmeyi göstermektedir.

Ay, Sene	Altın fiyatı (\$/troy ons) (Aylık ortalama)
Temmuz, 1968	39.47
Aralık, 1968	41.08
Temmuz, 1969	41.759
Aralık, 1969	35.170
Ocak, 1970	34.942
Temmuz, 1970	35.321
Aralık, 1970	37.435
Ocak, 1971	37.874
Temmuz, 1971	40.952
Aralık, 1971	43.484
Ocak, 1972	45.751
Mayıs, 1972	54.618
Aralık, 1972	63.909
Ocak, 1973	65.139
Şubat, 1973	74.198
Mart, 1973	84.372
Nisan, 1973	90.496

Tablo - 1 : Altın fiyatlarındaki dalgalanma (Londra altın borsasına göre) (1)

1 troy ons : 31,1 gr.

1 ons : 28,5 gr.

1 ppm : 0,029 ons/ton

ppm : milyonda bir parça

Mayıs, 1973	101.959
Aralık, 1973	106.719
Ocak, 1974	129.191
Şubat, 1974	150.233
Mart, 1974	168.421

1.a. Altının bulunduğu kayaçlar

Altın ihtiva eden kayaçlar üç grupta toplanabilir : (2)

- Asit mağmatik kayaçlar (altere olmuş kuvars porfiri)
- Fazlaca kırıklı, ince taneli silisleşmiş kireçtaşı
- Breş içinde ince altın tanecikleri

Bugün dünya altın üretiminin en önemli kısmı, aşağıdaki yataklardan elde edilmektedir :

- Damar tipi yataklar
- Plaserler

Gelecekte, deniz suyu da altın üretiminde bir kaynak olarak düşünülebilecektir. 1 mil küp deniz suyunun ihtiva ettiği altın miktarı bugün Amerikanın ürettiği altın miktarından daha fazladır.

1.b. Altının kazanılmasında uygulanan yöntemler :

Altın cevherleri, çok değişik bir tenor dağılımı göstermektedirler. İşletilebilir cevher tenörü, altının satış fiyatı ve işletme masraflarına bağlı olarak değişmektedir.

* Maden Y. Müh. Öğretim Görevlisi, O.D.T.Ü. Maden Müh. Bölümü
Bu makalenin hazırlanışında, 31. Mayıs. 1973'de O.D.T.Ü.'inde verdiği seminerden ve AIME'de Şubat, 1974'de basılan Makalesinden faydalanmama izin veren R.B. Bhappu'ya teşekkürlerimi sunarım.

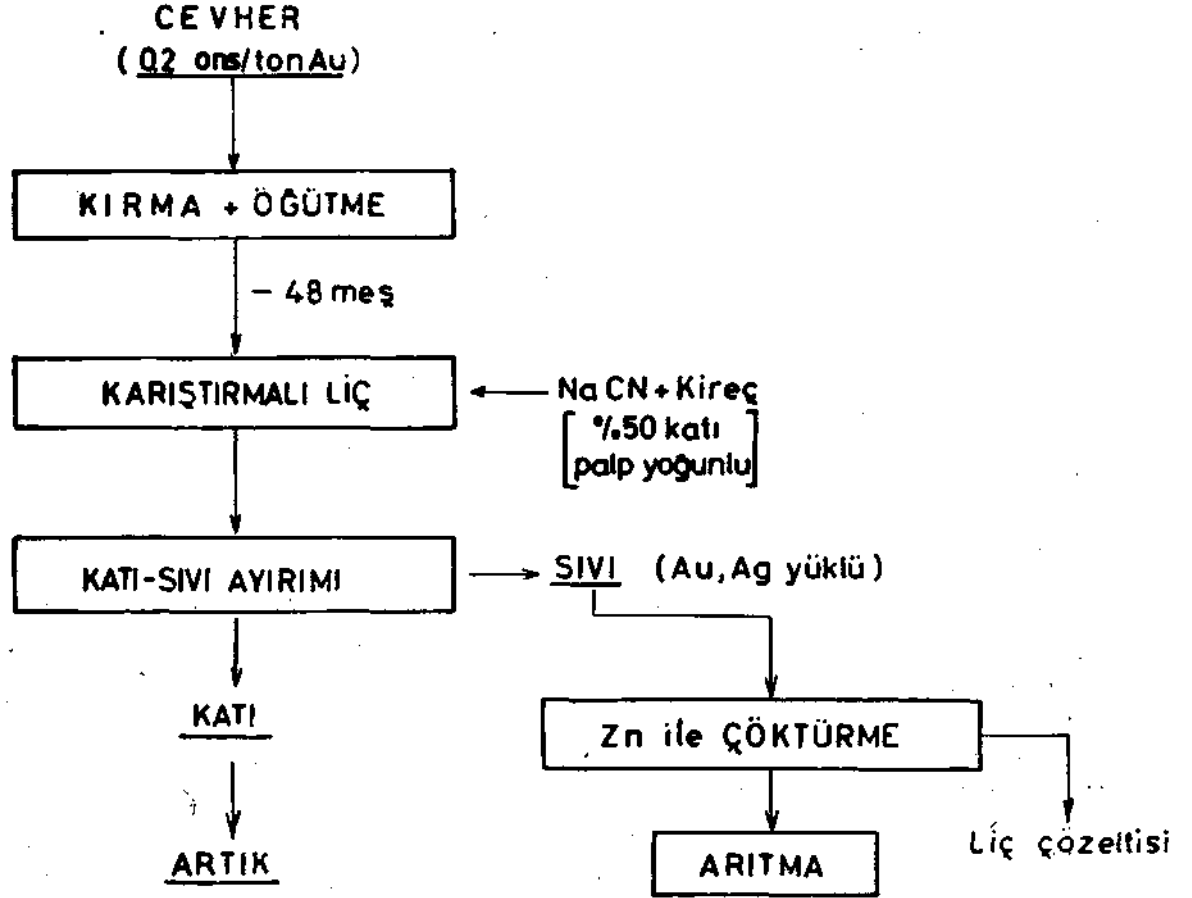
Bugünkü altın fiyatlarının yüksek oluşu, düşük tenörlü cevherlerin işletilebilmesi olanağını vermektedir.

Genellikle, tonunda 0,2 ons veya daha çok altın içeren ve ekonomik tenor sınırı yaklaşık olarak 0,07 ons olan altın cevherleri için uygulanan zenginleştirme yöntemleri (3) :

- a) gravite
- b) amalgamasyon
- c) flotasyon
- d) siyanür
- e) doğrudan doğruya ergitme

Bütün bu yöntemler yüksek yatırımları gerektirdiği kadar büyük işletme masraflarına da ihtiyaç göstermektedir. Bu yüzden tonunda 0,02 - 0,07 ons altın bulunan düşük tenörlü cevherlere, yukarıdaki tekniklerin uygulanması ekonomik olmamaktadır.

Bugün bilinen veya yeni keşfedilmiş olan altın yataklarının birçoğu ya düşük tenörlüdür, ya sınırlı bir rezerve sahiptir, ya da gravite ve siyanür yöntemlerinin uygulanması olanağını vermeyen, kil veya diğer zararlı mineralleri ihtiva eden cevher

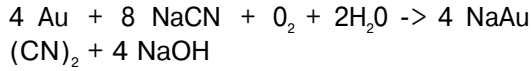


Şekil-1 : Geleneksel siyanür işleminin akım şeması

yataklardır. Bu şekildeki yatakların değerlendirilebilmesi için işletme masrafı düşük az bir yatırımı gerektiren ve çevreyi kirletmeyen yöntemlerin bulunmasına çalışılmaktadır.

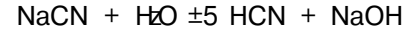
2. Geleneksel Siyanür Yöntemi

Altının siyanür çözeltisi ile çözünmesi sırasında meydana gelen reaksiyon, Eisner denklemi ile gösterilebilir (4) :



Siyanürasyon işleminin akım şeması aşağıda kısaca gösterilmiştir.

Bu yöntemde eriyiğin pH'ı çok önemlidir. Sodyum siyanür suda çözüldüğü zaman aşağıdaki reaksiyonu verir.



HCN'in sudaki erirliği hemen hemen yok gibidir. Bu denkleme göre suda serbest alkalinin bulunması denklemi sola doğru çevirir. CN⁻ konsantrasyonu da pH yükseldikçe artar. Aşağıdaki tabloda değişen pH'a karşı CN⁻ konsantrasyonu ve HCN gösterilmiştir (5).

Millimole/Millimole		
pH	CN ⁻	HCN
6.0	0.0005	0.9995
6.5	0.0015	0.998
7.0	0.0047	0.995
7.5	0.0146	0.985
8.0	0.045	0.955
8.5	0.129	0.871
9.0	0.320	0.680
9.5	0.597	0.403
10.0	0.825	0.175
11.0	0.979	0.021
12.0	0.999	0.001
13.0	1.000	0.000

Tablo - 2 : pH'nın CN⁻ iyonu konsantrasyonuna ve HCN'in erirliğine etkisi (4).

1 miligram sodyum siyanür içindeki

Yukarıdaki yöntemin uygulanması hem yüksek bir yatırım gerektirdiğinden, hem de işletme masraflarının fazla oluşundan dolayı, tonunda 0,02 - 0,07 oz altın bulunan düşük tenörlü cevherler için ekonomik olmamaktadır.

3. Siyanür Yığılma Liçi - Karbon Adsorpsiyonu - ve Altının elektroliz yoluyla kazanılması Yöntemi (6).

Laboratuvar ve pilot tesis çapındaki çalışmalar ile bunların endüstrideki birkaç uygulamasından, yukarıda ismi verilen yön-

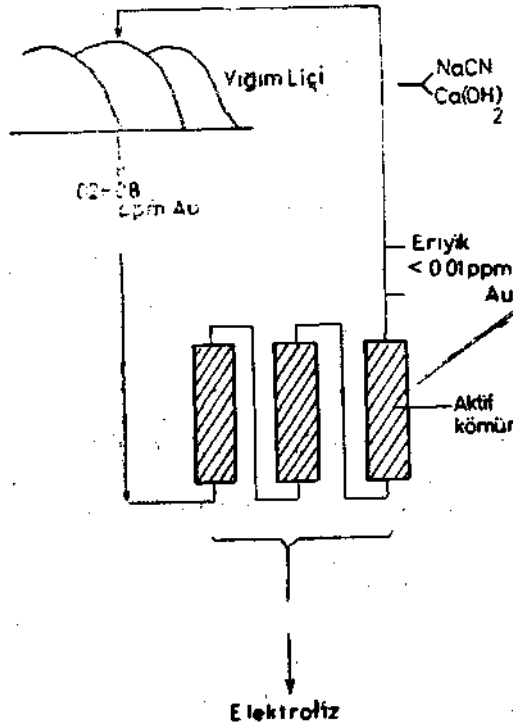
CN⁻'i miligram olarak hesaplamak için bu sütundaki rakamları 0.531 ile çarpmak yeterlidir.

temin düşük tenörlü altın ve gümüş cevherlerinin işlenmesinde ekonomik olduğu görülmüştür. Eski siyanür yöntemiyle ekonomik olmayan 0,02 ons/ton Au cevherleri bu yöntemle işlenebilmektedir. Bu tekniğe uygun altın cevheri, boşluk dolgu? (çatlak (California ve Avustralya) stokvork (Colorado), breş (Utah), konglomera) şeklinde bulunmakta ve kaba kırma yöntemi ile hemen ortaya çıkartabilmektedir. (7) Yalnız altın taşıyan kayanın gözenekli olması ve siyanür tüketen maddeleri kapsamaması gereklidir.

Yöntemin uygulanacağı, doğrudan doğruya madenden çıkarılmış veya kabaca, kırılmış, tane dağılımı 1,5 cm. ile 15 cm. arasında olan cevher doğal veya yapma, geçirgen olmayan bir taban üzerine yığılır. Sulandırılmış siyanür kireç eriyiği yığının üzerine homojen bir şekilde dökülür. Bu eriyik özellikle cevherdeki altın ve gümüşü eritir. Optimum bir altın gümüş kazanılması işlemin haftalar veya aylarca devam etmesini gerektirir.

Bilindiği gibi organik maddelerin altını adsorbe etme özelliği vardır. Bu yöntemde de çözeltilen altını kazanmak için aktif karbon (mangal kömürü) kullanılır. Altın adsorbe etmede en iyi mangal kömürü hindistan cevizinden elde edilir. Satış fiyatı kilo başına 1,2 dolardır.

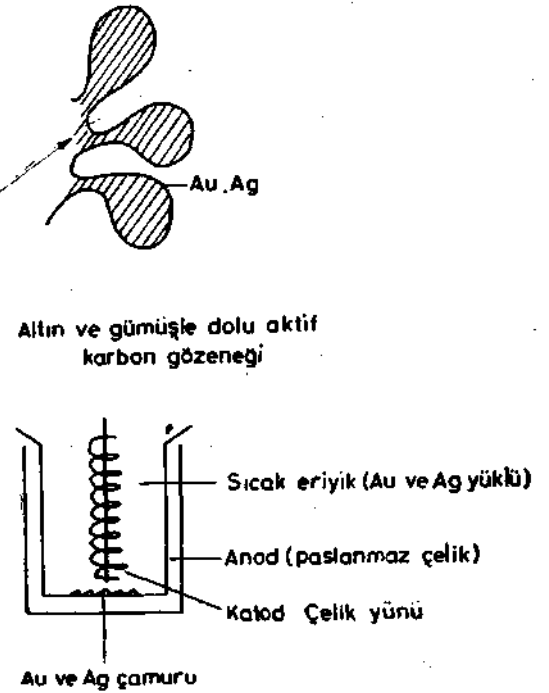
Altın ve gümüşü taşıyan çözeltilenin içerdiği altın miktarı 0,2 ppm'den az olduğu zaman, Zn ile altını çöktürme işlemi mümkün olamamaktadır. Bu durumda da organik maddelerden faydalanmak zorunluluğu vardır.



Şekil-2 Siyanürasyon yığma liçi

Yöntemin uygulanmasından gelen siyanür - kireç çözeltilisi toplanarak aktif karbon kolonundan geçirilir. Çözeltinin içindeki altın ve gümüş siyanürü kompleksi, aktif karbon parçacıkları tarafından seçmeli olarak adsorbe edilir. Bir ton karbon normal olarak 250 - 400 ons altın adsorbe edebilir. Geriye kalan, konsantrasyonu düşmüş siyanür ve kireç çözeltilisi yeniden ayarlanarak devreye sokulur.

Aktif karbondan altın ve gümüşü ayırmak için ya aktif kömür yakılarak Au ve Ag açığa çıkarılır, ya da kömürün üzerine sıcak kostik siyanür çözeltilisi dökülür. Bu çözelti % 1 NaOH ile % 0,1 NaCN ün 90°C de ısıtılmasıyla elde edilir. Aktif karbon tarafından adsorbe edilen Ag ve Au kompleksi çözeltiliye geçer. Eriyikten, Au ve Ag çinko tozu ile çöktürülerek ayrılabilir. Diğer bir yol da, çelik yününün katod olarak kullanıldığı bir hücrede, çözeltiliyi elektroliz etmektir. Elektroliz kabında toplanan altın ve gümüş alınarak yeniden işleminden geçirilir, buradan altın ve gümüş ya ayrı ayrı ya da be-



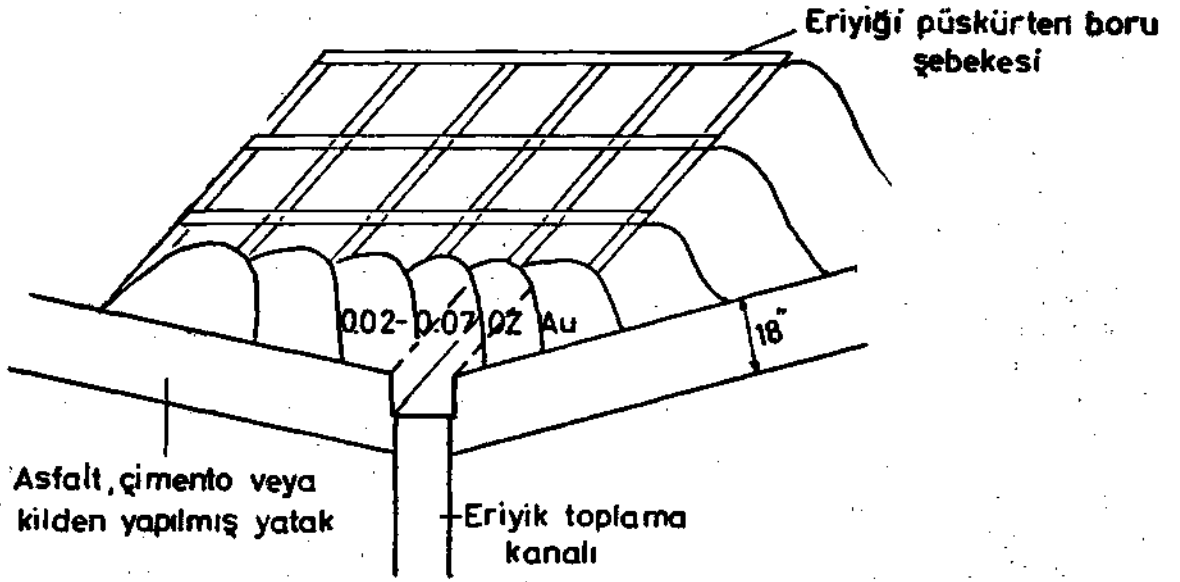
Şekil-3: Elektroliz hücresi

raber (dore) olarak elde edilir. Bu devreden sonra karbon yeniden aktiflenerek devreye sokulur. Aşağıdaki şekillerde şematik olarak siyanür yığma liçi ile altının kurtarılmasında kullanılan bir elektroliz hücresi gösterilmiştir.

Geleneksel siyanür yönteminde olduğu gibi, bu yöntemde de oksijen ve kireç çok mühim bir rol oynamaktadır. Kireç sadece palpin pH'ını ayarlamakla kalmayıp, aynı zamanda çözeltiye geçen tuzları nötürleştirir

(proses sırasında, siyanürü tüketen tuzlar en düşük seviyede tutulmalıdır) Genellikle, kireç ihtiyacı pH 11'de serbest kireç miktarı en az 0,05 kg olacak şekilde ayarlanır. Bu da bir ton cevher için yaklaşık olarak 1.5-2.5 kg. dir. Liç için gerekli siyanür miktarı ise 1 ton cevher için 0,5 kg. dir.

Endüstri çapındaki tesislerde, geçirgen olmayan yüzeyler, asfalt veya kille kaplanarak inşa edilirler. Böyle bir yüzeyin maliyeti dönüm başına 15 000 dolardır.



Şekil-4: Siyanür yığın liçinde yatağın hazırlanışı

Buradan liç çözeltisinin % 96 sini kazanmak mümkündür, kayıp sadece buharlaşmadan ileri gelir. Siyanür çözeltisi zehirli olduğundan ve içinde altın da ihtiva ettiğinden, eriyiğin kaybının en düşük seviyede tutulması gerekir.

Tesisten sulara karışan CN~ miktarı hiçbir zaman 1 ppm'i geçmemelidir.

önceden de belirtildiği gibi, bu yöntemde cevherin tane büyüklüğü 1,25 cm'den tüvenan cevher büyüklüğüne kadar değişebilir.

Liç yığının yüksekliği 3 metre ile 15 metre arasındadır. Liç çözeltisi, içinde % 0,05 - 0,1 sodyum siyanür ihtiva edecek şekilde hazırlanır ve pH'ı da kireç ilâvesiyle 10,5 civarında tutulur. Çözeltinin yığına ilâve miktarı 5-25 galon / ft² / gün'dür. Günde 5000 ton cevher işleyen bu tip bir tesis için gerekli yatırım miktarı 2,5 milyon dolardır. Yukarıdaki yöntem çevre kirliliği sorunu açısından da çekicilik kazanmaktadır. Çünkü liç çözeltisinin çevreyi kirlenme olanağı olmadığı gibi, operasyon artıklarının da iri taneli oluşu ve toz ihtiva etmeyişi bir toz problemini doğurmamaktadır.

4. Siyanür Yönteminde Diğer Teknikler

Düşük tenörlü cevherlerden altının kazanılmasında diğer bir teknik «Tank Liçi»'dir. Burada liç eriyiğinin, tanka doldurulmuş taneler arasından kolayca geçişini sağlamak için cevherin inceye kırılmış, fakat şlammdan arınmış olması gerekmektedir. Siyanür çözeltisi aşağıdan yukarıya veya yukarıdan aşağıya doğru tankın içinden geçirilerek altın ve gümüşün çözünmesi sağlanır. Altının tamamının çözültüye geçmesi, birkaç gün alabilir. İçinde altın taşıyan bu çözelti devamlı olarak aktif karbon kolonundan geçirilir ve altın, gümüşün karbon tarafından adsorbe edilmesi sağlanır. Sonra yukarıda bahsedilen işlemler uygulanarak altın ve gümüş elde edilir.

5. Siyanür Yöntemlerinin karşılaştırılması

«Tank liçi ile yığın liçi karşılaştırıldığında, birincinin daha yüksek yatırıma ihtiyaç gösterdiği ve işletme masraflarının da daha yüksek olduğu görülür. Buna karşı, siyanür işlemleri için ihtiyacı olan zaman daha kısa olup, daha yüksek randıman vermektedir.

Tank liçi'nin diğer bir özelliği de, kış aylarında diğer yöntemlerin liç çözültülerinde görülen donma olayının bu yöntemde görülmemesidir.

Geleneksel siyanür yöntemi ile siyanür yığın liçi karbon adsorpsiyonu elektroliz yöntemi karşılaştırıldığında, ikinci yöntemin gerektirdiği yatırımın, birincinin % 25 i kadar olduğu görülür. İşletme masrafları da ikincinin lehine bir durum göstermekte olup, birincinin % 45'i kadardır.

Kaynaklar :

- 1 — Engineering and Mining Journal (1968 - 69 - 70 - 71 - 72 - 73 - 74)
- 2 — Bhappu, R.B. ODTÜ'ünde 31.Mayıs.973 de verilen «Siyanür yöntemiyle altının kazanılması» konulu seminer
- 3 — Taggart, A.F., «Handbook of Mineral Dressing» S. 2-74

Daha gelişmiş bir yöntem olan tank liçi, gerek yatırım, gerekse işletme masrafları yönünden geleneksel siyanür yöntemi ile yığın liçi yöntemi arasında bir durum göstermektedir.

Metal randımanı yönünden yapılan karşılaştırmalar göstermiştir ki, en yüksek randıman karıştırmalı liç yönteminden elde edilmekte olup, 24 saat içinde % 90 lık bir randımana ulaşabilmektedir. Bunu tank liçi takip etmekte olup, 3-6 günlük bir zaman zarfında, % 85'lik bir randıman elde edilmektedir. Yığın liçi ise diğerlerinin yanında en yavaş işleyen bir yöntem olup, 6-7 haftalık bir devrenin sonunda ancak % 60-70'lik bir randıman verebilmektedir.

S O N U Ç :

Düşük tenörlü altın cevherlerinden altının kazanılmasında siyanür liçi - karbon adsorpsiyonu ve elektroliz yöntem oldukça başarılı sonuçlar vermekte ve diğer yöntemlerle işletilmesi ekonomik olmayan yataklar . böylece değerlendirilebilmektedir. Bu yöntemin uygulanmasıyla hem yatırım masraflarında hem de işletme masraflarında bir düşüş kaydedilmektedir.

Yukarıdaki yöntemin sağladığı olanağın ışığı altında, yurdumuzda yapılan altın aramalarından bulunmuş ve işletilmesinin ekonomik olamayacağı kanısına varılmış düşük tenörlü yataklarının tekrar ele alınıp, incelenmesinde fayda vardır.

Bütün bunlara rağmen en iyi işletme yönteminin seçimi, herbir altın cevheri için farklı olup, onun karakteri, rezervi, tenörü ve satış fiyatı ile yakından ilgilidir.

- 4 — American Cyanamid Company «Chemistry of Cyanidation»
- 5 — Gaudin, A.M., «Flotation», 1957, s. 296
- 6 — Bhappu, R.B., Milton F. Lewis., «Leaching of low grade gold ores, economic evaluation of available processes.» AIME Annual Meeting Dallas - Texas, Febr. 1974.
- 7 — Bateman «Formation of mineral deposits»