

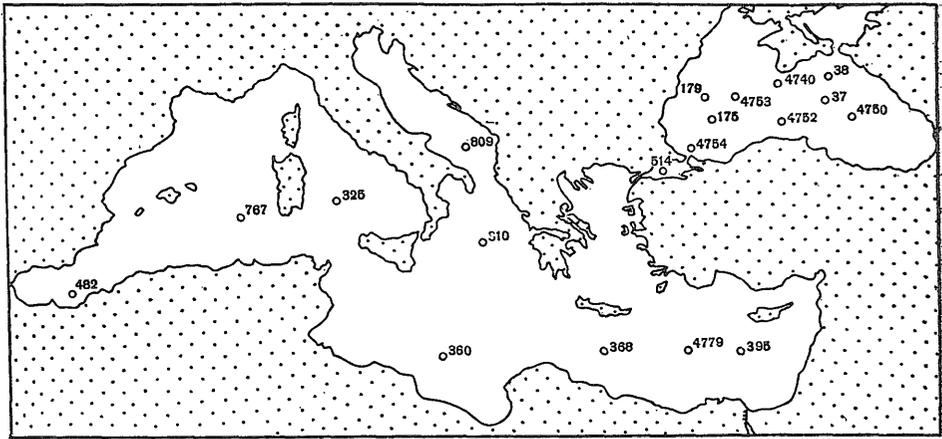
黒海と地中海の底質柱状におけるウランと希金属\*

G. N. BATURIN, A.V. KOCHENOV & K. M. SHIMKUS

矢部 之男 訳

黒海と地中海の堆積物の表層からえた試料 150 コについてのウランの研究によって、海底域にそのウラン分布の一般図式が提示しうるようになり、ウランと有機物との間には明確な関係があることが明らかとなった〔1〕。

黒海〔2, 3〕と地中海〔4〕の堆積物柱状におけるウラン含量のデータも一連の研究によって相当にもたらされたが、しかし、ウランと有機物との関係にまつわる問題は提起されていない。海成軟泥中のウラン分布の一般的規則性、なかんずく、ウランと有機物との関係にはどのような特性がみられるか、を解明するためには、表層堆積物はむろんのこと堆積層についての総合的研究が必要である。このような点から、われわれは黒海から9コの、地中海からは10コの研究用堆積物柱状を選び、先に行なった研究〔1〕を継承した(第1図)。柱状は32回にわたる航海時に採取されたが、黒海(1960)では“ピチャー号”により、黒海と地中海(1959—1961)では“アカデミック・バリロフ号”によりそれぞれ採取された。



第1図 測点分布図

注) 堆積物のタイプは、ソ連科学アカデミー海洋学研究所で採用されている分類に準拠して区分してある。

研究試料については、ウランのほかに、堆積性鉱床では通常副成分元素として産する Mo, Co, Ni および V 含量を定量した。同時に、Corg, P および Mn 含量の定量とともに、粒度分析も実施し、粒度組成と物質組成に関して堆積物のタイプを区分することができた。

分析は次の方法、すなわち、KnoppとFreseniusの螢光法(ウラン)、バリウム置換法(CorgとCaCO<sub>3</sub>)、アルカリ置換法(燐)、定量分光法(Mo, Co, Ni, V, Mn)により行なった。分光分析の結果は、標準試料の化学分析によって検証した。

2, 3の試料については、筆者らの要請によって、Yu. N. グルスキー(国立モスクワ大学)

\* Г. Н. Ватури́н, А. В. Коченов & К. М. Шимкус : Уран и Редкие Металлы в Колонках Донных Осадков Черного и Средиземного Морей, Геохимия, no. 1, p. 41~50, 1967

が総合ルミネセンス・ピチューメン分析法により有機物のグループ組成を定量した。全種類の分析用試料は長さ0.2~0.5m(まれにはそれ以上)の柱状から選んだ。

ウラン含量については180コ, Corg と CaCO<sub>3</sub> については90コ, Mo, Co, Ni およびVについては130コ, P と Mnについては50コの分析を行なって試料を処理した。黒海堆積物柱状については現世層, 古黒海期層(完新世), 新ユークシン期層(ヴルム期後期)が明らかにされた。新ユークシン期堆積物(その基底は不明であるが)は陸源性で, 多少石灰質の軟泥であり, ハイドロトロイライトによって黒色を呈していることもまれではない。この軟泥は, Corg については0.3~0.7%, CaCO<sub>3</sub> については1.3ないし20%の範囲内で上下するのが特徴である。

古黒海期堆積物の層厚は10ないし347cmで, 黒色腐泥質軟泥のはさみ, 均質ないし微層理の黒色粘土質軟泥の互層からなる。均質な粘土質軟泥は, 通常, 0.7~1.3%のCorgと12~15%のCaCO<sub>3</sub>を含む。微層理軟泥中では, Corg 含量は幾分高い(1.5%ないしそれ以上)。黒色腐泥質軟泥のはさみは古黒海期堆積物にとってはもっとも特異なものであり, 10~20%の有機炭素を含んでいる。CaCO<sub>3</sub> 含量は10%を超えない。

現世層は均質・微層理の粘土質軟泥からなる。均質粘土質軟泥は2%以内のCorgと15%以下のCaCO<sub>3</sub>を含んでいる。微層理軟泥はこの両成分の含量が高いことが特徴で, 停滞水帯では最大含量(Corg 4~5%, CaCO<sub>3</sub> 70%以下)に達している。この事実は粘土石灰質および石灰質微層理軟泥の解明に貢献したアルハンゲルスキーとストラーホフの論拠として役立つものである[7]。われわれが研究した現世堆積物の厚さは10~175cmである。

研究した地中海堆積物の柱状は, 中央海膨帯の上部第四紀層(柱状368番), レバンド海盆柱状(柱状4779番), イオニア海盆柱状(柱状310番), 大陸斜面下部の柱状(柱状360番), およびその他の海域のものである(第1図)。

時代的にリスヴルム期, ヴルム期および後氷期層であることが明らかにされた地中海東部の柱状は, 層相的にも地球化学的にももっとも多様である。

リス・ヴルム期堆積物は石灰質粘土と強石灰粘土質のはさみの互層や青灰色および緑灰色のシルト・粘土質有孔虫軟泥からなる。緑灰色のものは1.9~4%以下のCorgと44%以下のCaCO<sub>3</sub>を含むが, 一方, 青灰色軟泥のCorg含量は0.3~0.5%と減少しているが, CaCO<sub>3</sub>含量は50%ないしそれ以上に増大している。

ヴルム期堆積物は比較的均質で, 粘土質およびシルト・粘土質の褐色有孔虫軟泥からなり,

第1表 黒海と地中海の堆積物柱状における金属, Corg および CaCO<sub>3</sub> の平均含量

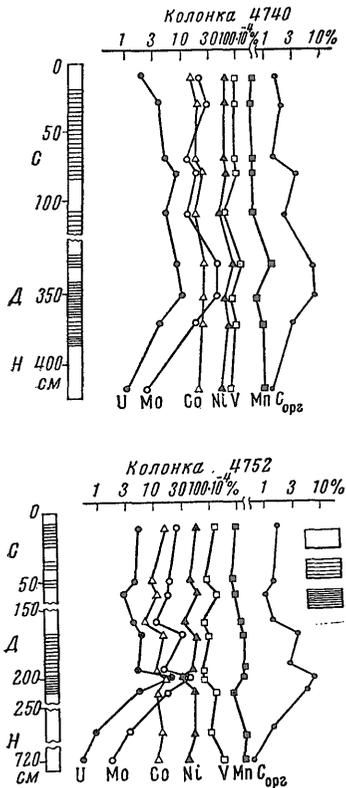
(カッコ内の数値は非炭酸塩物質について換算した元素の濃度を示す)

堆積物のタイプ	U n.10 <sup>-4</sup> %	Mo n.10 <sup>-4</sup> %	Co n.10 <sup>-4</sup> %	Ni n.10 <sup>-4</sup> %	V n.10 <sup>-4</sup> %	Mn %	Corg %	CaCO <sub>3</sub> %
黒 海								
現世堆積物								
粘土質軟泥	2.8 (3.3)	15 (18)	10 (12)	58 (68)	80 (95)	0.048 (0.057)	1.48 (1.76)	16
粘土・石灰質軟泥	6.5 (10)	26 (40)	14 (21)	60 (92)	80 (107)	0.046 (0.070)	2.57 (3.95)	35
石灰質軟泥	14 (35)	30 (75)	19 (47)	50 (125)	52 (130)	0.038 (0.085)	3.87 (9.67)	60
古黒海期堆積物								
均質粘土質軟泥	3.0	16	12	60	85	0.060	1.06	14
微層理軟泥	4.2	28	13	70	70	0.065	2.33	14
腐泥質軟泥	12.0	60	22	90	100	0.045	9.45	10
新ユークシン期堆積物								
粘土質軟泥	1.5	3	12	60	95	0.070	0.65	13
地 中 海								
通常の粘土・石灰質軟泥	1.5	3	15	50	60	0.120	0.35	48
高Corg含量の緑灰色軟泥のはさみ	18	24	38	90	140	0.053	2.20	39

0.2~0.4%のCorg と31~77%の CaCO<sub>3</sub> を含んでいる。

後氷期堆積物は粘土質とシルト・粘土質の青灰色および褐色軟泥 からなり、0.2~0.5%の Corgと46~54%の CaCO<sub>3</sub> を含んでいる。完新世堆積物断面の中部には、1.8~1.9%の Corg を含む緑灰色軟泥のはさまがみられ、有機物に富むリス・ヴルム期堆積物に酷似している。分析結果(第1表および第2・3図)は次の通りである。

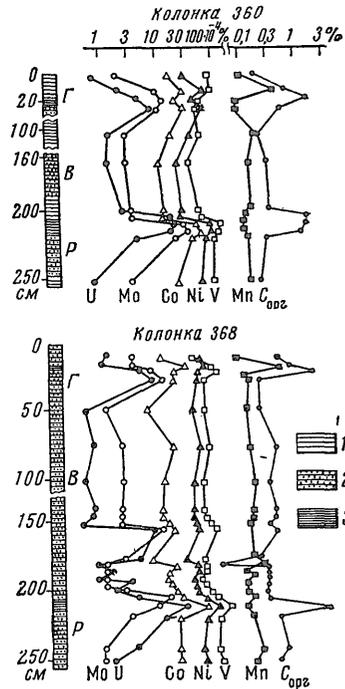
1. 黒海堆積物の断面では、ウラン含量は  $0.2 \cdot 10^{-4}\%$  ~  $35 \cdot 10^{-4}\%$  の範囲を上下する。ウランの最小濃度は新ユークシン期堆積物においてみられ、平均ウラン含量は  $1.5 \cdot 10^{-4}\%$  である。古黒海期の均質粘土質軟泥の平均ウラン含量は  $3 \cdot 10^{-4}\%$  であるが、微層理軟泥のそれは  $4.2 \cdot 10^{-4}\%$  である。ウランの最大濃度—— $35 \cdot 10^{-4}\%$ ——は古黒海期の腐泥質軟泥において認められ、その平均含量は  $12 \cdot 10^{-4}\%$  である。



第2図 黒海堆積物の柱状におけるウランと希金属の分布

1—均質粘土質軟泥, 2—微層理粘土質軟泥, 3—腐泥質軟泥, C—現世堆積層, D—古黒海期堆積層, H—新ユークシン期堆積層

Колонка=柱状 4740, Cорг=Corg



第3図 地中海堆積物の柱状におけるウランと希金属の分布

1—粘土質軟泥, 2—シルト・粘土質軟泥, 3—有機物に富む軟泥, Г—完新世堆積層, B—ヴルム期堆積層, P—リス・ヴルム期堆積層

現世堆積物中での最小ウラン含量は、均質な粘土質軟泥(平均 $2.8 \cdot 10^{-4}\%$ )において、最大含量(平均 $1.4 \cdot 10^{-3}\%$ )は有機物に富む微層理石灰質軟泥において認められる。

黒海堆積物の断面では、モリブデンの含量についても同じようなことがみられる。しかるに、モリブデンを除く他の金属の平均含量についてはこれほど激しく変動していない。現世堆積物の天然物質中では、粘土質軟泥から石灰質軟泥に移行するさい、U, Mo, Co の濃度が上昇するが、V, Ni, Mnの濃度は逆に低下する。しかしながら、石灰質軟泥の非炭酸塩物質中では、

全ての金属の濃度は他の型の現世堆積物に比し最大であることが判明している。古黒海期堆積物においては、全ての金属の最大含量は、マンガンを除き、大低の場合、腐泥質軟泥中に認められる。2, 3の柱状においては、希金属とCorg含量との間、特にUとMo(第2図)との間に明確な相関関係が観察されるが、柱状全体としては金属とCorg含量との間に何らの恒常的な相関関係も存在しない。CorgとMn含量との間に相関関係が認められるような場合はない。

黒海の現世堆積物中のCo, Ni, VおよびMnの濃度は堆積岩類の平均含量と比較対照される程度であるのに、石灰質軟泥と腐泥質軟泥中のウラン濃度は、堆積岩類の平均含量の5~10倍以上、モリブデンにいたっては20~30倍以上に達していることもまれではない。

2. 地中海堆積物の大部分の柱状では、ウランも他の諸金属もほとんど一様に分布しており、その濃度は通例 $1\sim 4\cdot 10^{-4}\%$ の範囲にある。有機物に富む堆積物のはさみがみられる柱状360, 368および4779番は例外である。これらのはさみではウラン( $3.5\cdot 10^{-3}\%$ )も他の一連の諸金属も最大の濃度を示している(第3図)。

したがって、ここでは黒海におけるのと同様に、U, Mo, Co, およびVと有機炭素との間には明確な相関関係が普通にみられるが、と同時に、この相関関係を乱す要因も存在する。すなわち、柱状360と368番の後氷期層においては、NiとCo含量のピークはCorgのそれより数cm上方に、UとMo含量のピークはCorgのそれより幾分下方に移っているが、一方、柱状368番の150~153cm層では、ウランと希金属含量はCorgがバックグラウンド含量の時にはつきりと極大を示している(第3図)。

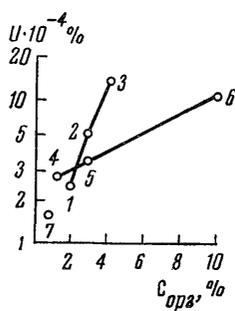
堆積物の断面にそって0.045~0.089%の範囲で上下する燐の濃度と希金属含量との間には関係はみられない、というのは、緑灰色のはさみと他の型の堆積物試料中での燐の平均含量は等しい(0.053~0.054%)からである。それというのは、堆積物の粒度組成が全く一致しているからであり、両者の場合、泥質粒度( $<0.01\text{mm}$ )の平均含量はほとんど同一(74.0および74.2%)であり、粒度 $<0.001\text{mm}$ の平均含量は30.2%(緑灰色軟泥)と33.4%(他の型の軟泥)である。

通常の粘土質およびシルト・粘土質軟泥中の金属濃度は、堆積岩の平均含量より低い場合が多い。富有機物軟泥のはさみ中でのウランとモリブデンの濃度は、時には平均含量の5~10倍に達することもあるが、一方、Co, Ni, V, およびMnの濃度は平均含量のレベルには近いが、あるいはわずかに上廻っているに過ぎない。

これらのデータから、柱状ならびに堆積物の表層における金属分布の2, 3の特性を比較検討することができる。黒海の軟泥中では、ウランとCorgは海底域にそい似たような分布を示し、U-Corgの相関関係はきわめてはつきりと堆積物の表層に表われている[1]。モリブデン・コバルトとCorgとの類似については、個別の特徴だけしか現れないが[9, 10]、ニッケル、バナジウムならびにマンガンはCorgとははつきりと異なる分布を示している[9]。と同時に、一連の堆積物柱状においては、Mnを除いた全金属とCorgとの相関関係にはある程度特徴がある。モリブデンは有機炭素との相関関係においてもっとも一貫した特色を有している。ウランとCorgとは明確な相関関係がみられるけれども、有機物に富む古黒海期の軟泥中でのウランとCorgとの比は、現世軟泥・それよりも2~3倍低いのが普通である(第4図)。図示したグラフから考えると、黒海堆積物中でウラン含量が高いということは、有機物とのみ関連しているということであり、堆積物中の他の全成分がU含量の $(1\sim 2.5)\cdot 10^{-4}\%$ 以上になることはない。

一般的性格として堆積層や堆積物表層においてみられるMo, Co, NiおよびVの分布の不一致は、もっとも有機物に富む海において生じているこれら金属の再配分と転換を表わしている。

ここで指摘しておかねばならぬことは、古黒海期の腐泥質軟泥中において、バナジウム含量が高くなっていることがすでに注目されており[11, 12]、続成解過程が原因となってバナジウムが濃集している、という見解が述べられていることである[12]。



第4図 黒海の主要なタイプの堆積物におけるウランと Corg 含量との間の相関関係

現世堆積物:

1—均質粘土質軟泥, 2—微層理粘土・石灰質軟泥, 3—微層理石灰質軟泥,

古黒海期堆積物:

4—均質粘土質軟泥, 5—微層理粘土質軟泥, 6—腐泥質軟泥

新ユークシン期堆積物

7—粘土質軟泥

Copr=Corg

軟泥水中で一連の金属 (Zn, Mo) 含量が高いということは, 続成作用による再配分の可能性を示しているが, この事実は, 海水中での両元素の含量より10倍以上にもなっている, ということで証明される [13, 14]。

しかしながら, 黒海の完新世堆積物におけるウランは, 軟泥水ではその含量が  $1 \cdot 10^{-4} \text{g/l}$  に達するにもかかわらず, おそらく, その移動性がごく極限されているだろう。黒海の軟泥表層におけるウランと Corg との相関関係は, 柱状におけるその分布が主たる原因であり, 堆積物の生成段階から継承されたものである, という推論を下しうる論拠を与えている。黒海の現世および古黒海期軟泥の酸化・還元ポテンシャルに関するデータもまた, 検討した堆積物試料中では, 6 価のウラン化合物を不溶性で非可動の 2 酸化ウランにまで還元しうる条件が存在する, ということを示している [16]。このほか, 現世の石灰質軟泥および古黒海期腐泥質軟泥中の有機物含量については相当に差異があるにもかかわらず, ウランの絶対濃度はほぼ同一であるが, これもまたウランが比較的移動しにくい, ということを証明している。

黒海の完新世堆積物においては, モリブデンがもっとも移動しやすく, その濃度は現世の石灰質軟泥よりも腐泥質のはさみにおいて著しく高い, ということは確からしい。各タイプの黒海堆積物における Co, Ni, および V 含量の平均値は, 柱状においてはこれらの金属と Corg とは相関関係を表わしていない, ということがはっきりしている (第1表)。この事実は多分, 2つの事情で説明されるだろう。第1には, すべての柱状でこれらの金属と Corg との相関関係はみられない, つまり, 確かな規則性がないということである。第2には, 軟泥表層ではこれら金属と Corg の分布は堆積物のタイプによって著しく異なっているということである。各海域における各種の異なるタイプの堆積物の示す柱状のデータを総合する場合, 上述の不一致は続成作用による金属の再配分とは無関係に存続される。

地中海の現世軟泥について検討した全金属のうち, 充分, かつ詳細に研究されているのはウランだけである [1]。この際には, ウランと Corg との明白な関係はみいだしえなかったが, 柱状その自体はこの点では軟泥表層に比較して充分, かつ著しく対照的である (第3図)。

層相上の特徴から察すると, おそらく, 地中海の大部分においては酸化環境が存在し, ウランは相当な移動能を有しているのであろう。ウランの放射性同位体  $U_{234}$  と  $U_{238}$  の比が低いということは, その移動能を示唆する副次的な特徴の1つであり, 柱状 310 と 4779 番の試料では平衡に近づいている [17]。このことと関連して, 地中海の堆積層においてはウランの濃集は有機物に富む緑灰色のはさみや堆積物の生成に際して生じうるが, その分布は主として続成過

程と関係している、と推論しうる。

地中海の2, 3の標準的堆積物試料の分析結果から, Mo, Co, Ni, およびVは黒海と同様に有機物とは異なる様式で軟泥の表層に分布している、ことが判明した。したがって、地中海の柱状においてみられるこれらの元素と Corg の分布の一致もまた、堆積物の続成作用期に確立される。ここでの Co, Ni およびVと Corg との相関関係は、黒海の完新世堆積物におけるよりも相当明瞭に現われるが、それはおそらく、地中海の軟泥中では、それらがより大きな移動能を有している、ということを示すものであろう。

先に指摘された金属と Corg の比にみられる特徴は、ある性格の続成過程と関連している。

柱状360番の有機物のグループ組成が研究された際、有機物の富化層準が18~23cmの所にあるにもかかわらず、ビチューメンのクロロフォルム含量の著しい極大が23~29cmの層準に存在し、しかもその層準がウランの最大濃度帯に一致する、ということが Yu, N, グルスキーにより解明された。

有機物の転換過程で、ビチューメン分は下位の砂質やシルト質堆積物中に移行しうる、ということが実験的研究により証明された[18]。このような現象は生じうる可能性があり、検討した試料の場合、ビチューメンが有機物分の表面に初生的に存在していたウランを、取着という形で分離・移動させることが可能である。

柱状360番の23~29cm層準には、径0.05~0.1mmの微粒の黄鉄鉱結核が相当に認められるが、それとともに Mo, Co および Ni の濃度が高くなっている。と同時に、有機物に富むはさみの上盤には、砂およびシルト大の鉄・マンガン結核が集積している。

海成堆積物中における鉄・マンガン結核の生成は、軟泥層で生ずる還元環境下で鉄とマンガンの移動能が増大することによって起り、その移動は上方の酸化帯へ向う、というストラホフの見解[19]に合致する。ここで検討した場合でも、同様の図式が、観察された現象と完全に一致している。まずは間違いなく、鉄とマンガンを同時に還元性のはさみから運び去られ、その他の元素——モリブデン、コバルトおよびニッケルは、通常、結核中に濃集するのであろう。

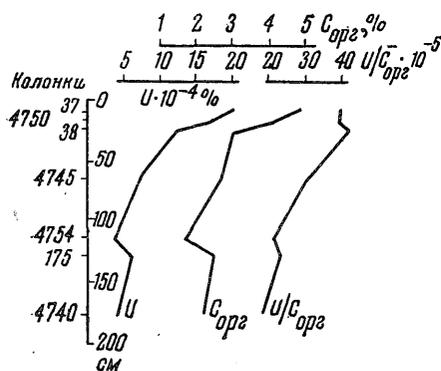
柱状368番の150~153cm層準で、検討した全ての金属の含量は著しく高くなっているが、これは特殊なケースである。このはさみはより暗灰色という点で周囲の堆積物と区別されるが、その中の有機物のバックグランド含量は0.4%である。ここでは、2次生成物のうち、注目されるのは炭酸塩結核のみである。

したがって、鉄・マンガン質、黄鉄鉱質、および炭酸塩質結核を生成する続成過程が、推定されるビチューメンの移動とともに、地中海の堆積物柱状において、金属と Corg の一般的な相関関係の背景に現われる異常全体をおそらく左右するのであろう。

ウランと Corg に富む堆積物中の有機成分へのウラン濃集度の指標として、特定の条件付の性質を有する U/Corg 比を検討することにより、軟泥堆積層とその表層におけるウランと有機物との関係〔1〕を確認することが可能となる。しかしながら、黒海と地中海の堆積物断面にそって、この比に相当の変動があるという点から、水盆の水理化学的状況ならびに堆積物中の有機物含量のほかに、ウラン濃度に影響をおよぼす別の条件がある、と結論せざるをえない。

海水から堆積物中へウランが侵入することによってそれに濃集する場合、天然水の循環強度によっても堆積物の生成速度によっても、その作用の効果は左右される。これらの要因のうち、第1の要因を評価するためのデータは存在しないが、第2の要因は計算によってある程度確かめることができる。

黒海の現世堆積物の厚さと、その中におけるウランと Corg の平均含量、および U/Corg 比とを実際に比較・検討すると、後3者の値は堆積物の生成速度と逆の依存関係にある、ということがわかる(第2表, 第5図)。しかしながら、検討した柱状の現世堆積物の厚さの差は17倍に達しているのに、ウラン含量は5倍、Corg は3倍の変化しかなく、U/Corg 比にいたっては2倍の変動しかない。これはおそらく、停滞水帯(柱状37, 38および4750番)における天



第5図 現世堆積物の層厚とその中のウランおよびCorg含量との間の相関関係  
 КОЛОНКА=柱状, Cорг=Corg

然水の循環が他の水帯に比し遅いことが、ウランの堆積物中への富化をより強くさまたげ、同様に U/Corg 比の増大を妨害しているのであろう。

一連の柱状からえた試料の絶対年代測定の結果を考慮すると、地中海における堆積物の生成速度[20, 21]は、黒海におけるそれ[22]よりも遅いが、地中海の軟泥試料の大部分の U/Corg 比は高くなく、黒海堆積物に比し低い。この現象は地中海における水層と軟泥表層に存在する酸化環境と関係しており、この海盆の堆積物中でウランの初生的濃集を促進しえないことはおそらく間違いない[1]。この場合、地中海の軟泥におけるウラン同位体の低放射能比は、海水中での比と著しく異なる[17]が、これは陸源物質と関連するウランの堆積物中における卓越で証明される。地中海の柱状において高 U/Corg比がみられるのは、ウランと有機物がともに富化しているはさみだけである。この関係は、おそらく、堆積物が生成する際のウランの初生沈殿(同時に、これは黒海の現世軟泥においても生ずる)だけでなく、堆積物の続成作用期に生ずる物質の2次的濃集と関係する。

第2表 黒海の現世堆積物の層厚とその中のウランおよび Corg 含量

柱 状 番 号	37	4750	38	4745	4754	175	4740
現世堆積物の層厚 (cm)	10	15	25	66	115	127	175
U · 10 <sup>-4</sup> の平均含量 (%)	20	17	13	6.5	3.8	6	4.1
Corgの平均含量 (%)	4.9	4.2	3.1	2.7	1.7	2.5	2.2
U/Corg · 10 <sup>-5</sup> 比	40	40	42	30	22	23	19

## 結 論

1. 黒海と地中海の一連の堆積物においては、金属 (U, Mo, Co, Ni, V) と有機物の分布に類似がみられる。
2. 黒海堆積物の柱状では、ウランとモリブデンに対する有機炭素の類似の相関関係がもつとも特徴的である。
3. 堆積物柱状における希金属と Corg との相関関係は、軟泥表層それ自体に関して対照的であり、堆積層におけるそれらの続成作用による再配分を証明する。
4. 有機物の転換過程は、堆積層における金属の移動能に影響をおよぼす主たる要因である。
5. モリブデン、コバルト、ニッケル、およびバナジウムの続成作用による再配分は、おそらく、黄鉄鉱質および鉄・マンガン質結核の生成過程と部分的に関連する。

6. 有機物に富む軟泥中でのウランの沈殿は、堆積物の生成にあたって、続成作用に際しても生ずる。
7. 海成堆積層におけるウランの置換は、有機物中のピチューメン分の移動と関連しうる。
8. 黒海堆積物の有機成分へのウランの濃集は、堆積物の生成速度に依存して現われる。

文 献

1. Коченов А. В., Батурич Г. Н., Ковалева С. А., Емельянов Е. М., Шинкус К. М. Уран и органическое вещество в осадках Черного и Средиземного морей. Геохимия, № 3, 1965.
2. Старик И. Е., Кузнецов Ю. В., Николаев Д. С., Легин В. К., Лазарев К. Ф., Гращенко С. М., Колядин Л. Б. Распределение радиоэлементов в осадках Черного моря. Докл. АН СССР, т. 129, № 5, 1959.
3. Старик И. Е., Николаев Д. С., Кузнецов Ю. В., Легин В. К. Радиоактивность осадков Черного моря. Докл. АН СССР, т. 139, № 6, 1961.
4. Goldsztein M. et Ros J. Sur la teneur en uranium des sediments du bassin occidentale de la Mediterranee. Bull. Inst. Oceanogr. Monaco, v. 60, № 1267, 1963.
5. Прокопцев Н. Г. Методы изучения механического состава современных осадков Средиземного моря в лаборатории литологии ЧЭНИС ИО АН СССР. В кн.: Основные черты геологического строения, гидрологического режима и биологии Средиземного моря. Изд-во «Наука», М., 1965.
6. Безруков П. Л., Лисицын А. П. Классификация осадков современных водоемов. Тр. Ин-та океанол. АН СССР, т. 32, 1960.
7. Архангельский А. Д., Страхов Н. М. Геологическое строение и история развития Черного моря. Изд-во АН СССР, М.—Л., 1938.
8. Виноградов А. П. Закономерности распределения химических элементов в земной коре. Геохимия, № 1, 1956.
9. Глаголева М. А. К геохимии осадков Черного моря. В кн.: Современные осадки морей и океанов. Изд-во АН СССР, М., 1961.
10. Пилипчук М. Ф., Волков И. И. Распределение молибдена в современных осадках Черного моря. Докл. АН СССР, т. 167, № 5, 1966.
11. Архангельский А. Д., Копченова Е. В. Заметка об органическом веществе, фосфоре и ванадии в отложениях Черного моря. Изв. АН СССР, VIII сер., отд. физ.-мат. наук, т. 3, 1930.
12. Остроумов Э. А., Волков И. И. К вопросу о взаимосвязи фосфора, ванадия и органического вещества в отложениях Черного моря. Геохимия, № 6, 1957.
13. Тагеева Н. В., Тихомирова М. М. Геохимия поровых вод при диагенезе морских осадков. Изд-во АН СССР, М., 1962.
14. Тагеева Н. В., Тихомирова М. М., Корунова В. В. Вода при диагенезе морских осадков (на примере северных морей). В кн.: Современные осадки морей и океанов. Изд-во АН СССР, М., 1961.
15. Шишкина О. В. Окислительно-восстановительный потенциал верхней десятиметровой толщи четвертичных отложений Черного моря. Докл. АН СССР, т. 139, № 5, 1961.
16. Наумов Г. Б., Коченов А. В., Герасимовский В. И., Германов А. И. Уран в осадочных породах. В кн.: Основные черты геохимии урана. Изд-во АН СССР, М., 1963.
17. Чердынцев В. В., Казачевский И. В., Кислицына Г. И., Кузьмина Е. А., Кинд Н. В. Неравновесный уран в карбонатных отложениях и определение их возраста. Геохимия, № 2, 1966.
18. Вебер В. В. Накопление органического вещества в осадках. В кн.: Накопление и преобразование органического вещества в современных морских осадках. Гостехиздат, М., 1956.
19. Страхов Н. М. Общая схема осадкообразования в современных морях и озерах малой минерализации. В кн.: Образование осадков в современных водоемах. Изд-во АН СССР, М., 1954.
20. Rubin M. a. Suess H. E. U. S. Geology Survey radiocarbon dates, 11. Science, v. 121, № 3145, 1955.
21. Olsson I. Uppsala natural radiocarbon measurements, I. Amer. J. Sci., Radiocarbon Suppl., v. 1, 1959.
22. Виноградов А. П., Гриненко В. А., Устинов В. И. Изотопный состав соединений серы в Черном море. Геохимия, № 10, 1962.