

資 料

553.434.068(571)

東シベリア、ウドカン鉱床関係論文(全3部)

—その1—

オレクマ-ヴィチム山岳区北東部含銅砂岩鉱床の 地質, 分布規則性ならびに生成条件*

Yu. V. BOGDANOV, G. G. KOCHIN, É. I. KUTYREV, L. V. TRAVIN & V. P. FEOKTISTOV

岸本文男**訳

今世紀の40年代末にチタ州の北東部で含銅砂岩が発見された。この含銅砂岩は、東シベリアと極東の発展する工業に必要な鉱物原料の有望な新しい鉱床として関心が高い。各機関(チタ地質調査所注¹⁾, 全ソ地質研究所注²⁾, モスクワ地質調査研究所注³⁾, 科学アカデミー生産力研究委員会注⁴⁾, 全ソ航空地質トラス注⁵⁾)が行なった調査・研究の結果, コダール・ウドカン構造相帯の下部原生代ウドカン系の変成した炭酸塩陸生層が発達する地域に, 銅鉱が多量, 高品位で集中していることが明らかになった。この構造相帯の広範な含銅砂岩の分布のしかたから, これを世界最古期の含銅砂岩型鉱床区の1つとして新しい銅鉱床生成区とすることができる。

今日までの関係地質文献では, ナーミング短軸向斜地域の含銅砂岩の記載を中心にしたものばかりであったが, 今回実施した調査・研究の結果得られた新たなデータから, 当該銅鉱床生成区内における鉱床分布の主な規則性と同含銅砂岩鉱床の成因が明白になった。

コダール・ウドカン帯の地質構造

コダール・ウドカン構造相帯は, バイカル地塊下部原生系のマイオ地向斜帯の1部分に相当する(サロフ, 1958)。その範囲には, 始生代, 下部原生代, 上部原生代, 古生代, 中生代, 新生代の地質生成体が発達している(第1図)。

始生代変成岩類はコダール・ウドカン構造相帯の東部に分布し, 白粒帯変成相および角閃岩変成相の各種の片麻岩と結晶片岩からなっている。下部原生代に該当するのは, ウドカン系の比較的変成度の低い炭酸塩陸生岩層である。それより新期の堆積岩層としては下部カンブリア系の雑色岩層と上部ジュラ—下部白亜系の夾炭層が広く分布し, 古第4系(old-quaternary)および現世のルーズな堆積層も広く分布している。

マグマ生成体の中でもっとも古期のものは始生代の酸性および塩基性マグマ岩であり, 変成作用を受けて強く変質している。類似タイプの他の銅鉱床生成区(南アフリカの銅ベルト, カザフ共和国のジェスカズガン向斜盆地など)では, 母岩よりも新期の貫入岩は存在していないという特徴をもっている。コダール・ウドカン構造相帯ではこれらの場合と違って鉱床の母岩を貫いた酸性および塩基性組成のマグマ生成体が広く発達しており, 下部原生代には, カラーはんれい岩—斜長岩コンプレックス, クーアング花崗岩類コンプレックス, チュイスク・コダール花崗岩類コンプレックス, 塩基性組成のアグラーン割れ目貫入岩・岩脈コンプレ

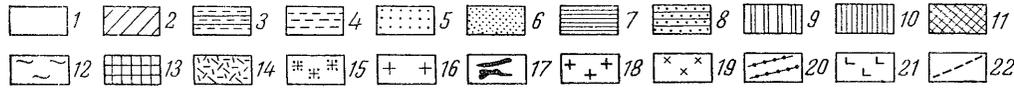
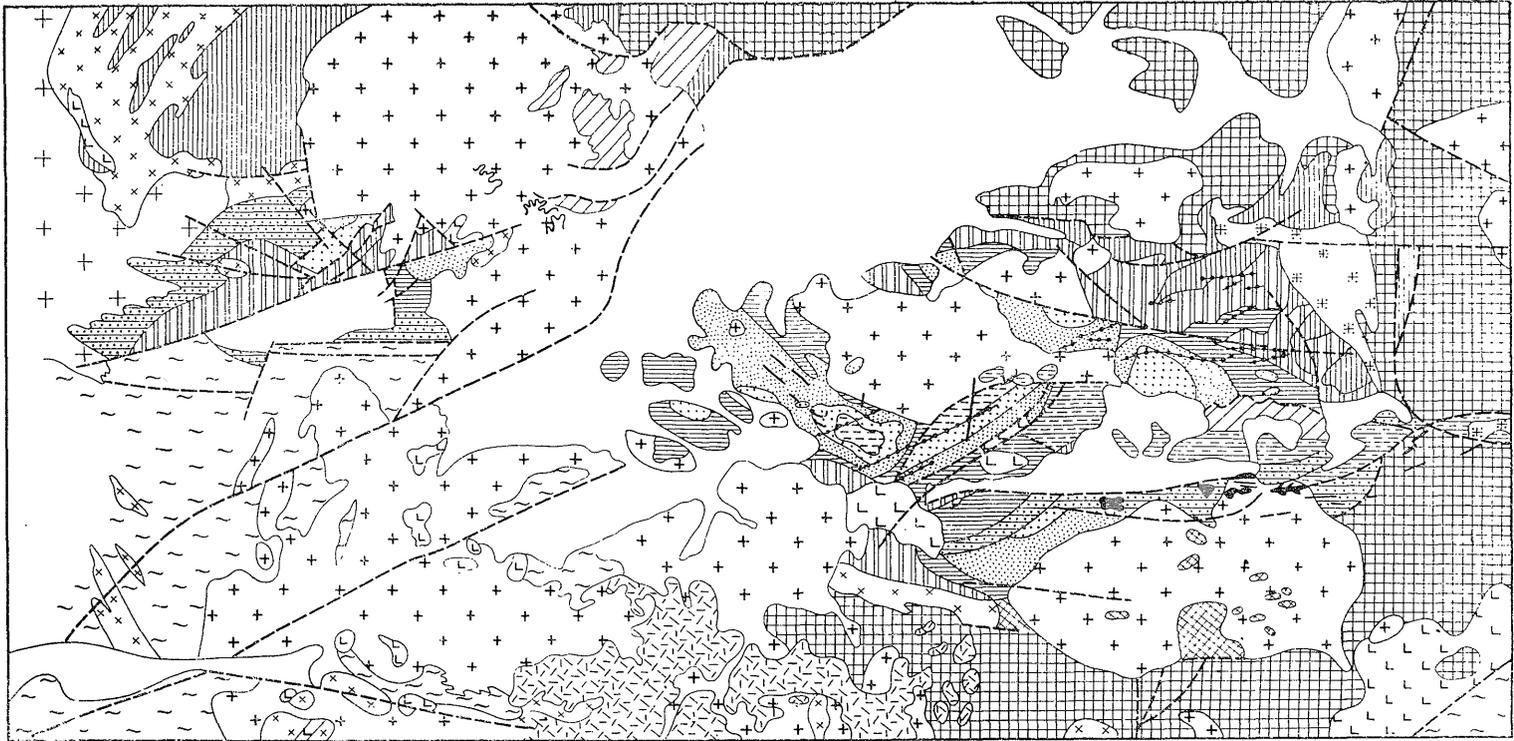
* Ю. В. Богданов, Г. Г. Кочин, Э. И. Кутырев, Л. В. Травин, В. П. Феоктистов: Геология, закономерности размещения и условия образования Медистых Песчаников Северо-востока Олекмо-Витимской Гораной страны, Советская Геология, no. 11, стр. 3-18, 1965.

** 鉱床部金属課

訳者記: 本稿は, 資料室, 斎藤次男氏の校閲を得た, 厚く謝意を表する次第である。

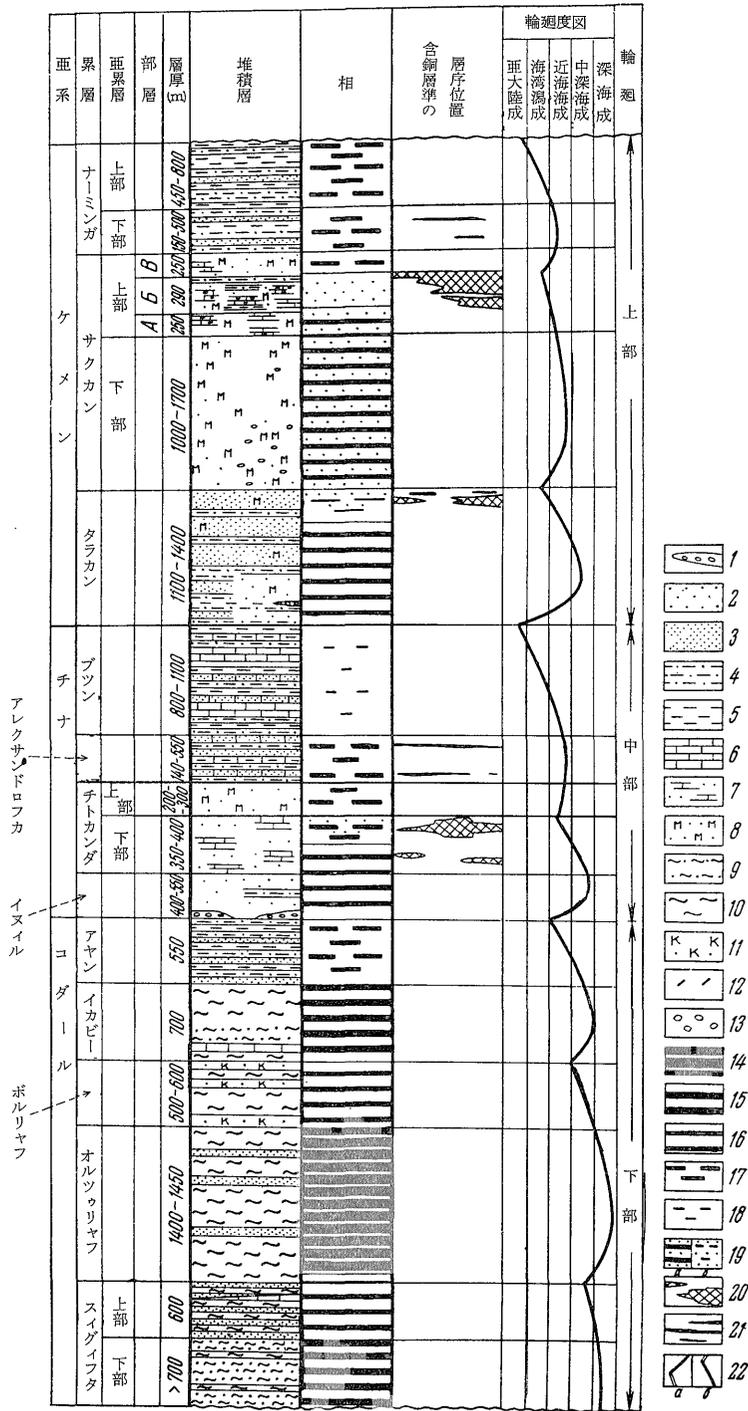
: コダール, ヴィチム山岳区およびウドカン鉱床の位置図は「その2」に掲載する。

注1) ЧГУ 注2) ВСЕГЕИ 注3) МГРИ 注4) СОПС АН СССР 注5) ВАГТ



1. 古第四系と現世層 2. 上部ジュラ系-下部白亜系夾炭層 3. 下部カンブリア系雑色岩層 4.-11. 下部原生代ウドカン系炭酸塩陸生層 (ケメン亜系 4. ナーミンガ累層 5. サクカン累層 上部亜累層 6. サクカン累層下部亜累層 7. タラカン累層 8. 未区分タラカン累層・サクカン累層 9. チーナ亜系 10. コダール亜系 11. 未区分ウドカン系)。12. シュリバーン層 13. 始生代変成結晶岩累層 14. 新生代玄武岩 15. アルダン・コンプレックス (中生代) の閃長岩・石英閃長岩・閃長閃緑岩・モンゾニ岩 16. マムスクーオローン・コンプレックス (上部原生代) の花崗岩・花崗片麻岩 17. アグラーン・コンプレックス (下部原生代) のはんれい岩・はんれい輝緑岩・輝緑岩・微はんれい輝緑岩岩脈 18. チュイスク・コダール・コンプレックス (下部原生代) の花崗岩・花崗閃緑岩・花崗閃長岩 19. クーアング・コンプレックス (下部原生代) の花崗岩・片麻岩状花崗岩 20. カラール・コンプレックス (下部原生代) のはんれい岩・輝緑岩岩脈 21. カラール・コンプレックス (下部原生代) のはんれい岩・斜長岩・準はんれい岩 22. 構造断層

第1図 オレクマ-ヴィチム山岳区北東部地質図



1. グリットストーン 2. 砂岩 3. シルト質砂岩 4. シルト岩 5. 泥岩 6. 石灰岩・白雲岩 7. 石灰質膠結砂岩 8. 含磁鉄鉱砂岩 9. 片岩状砂岩・シルト岩 10. 結晶片岩 11. 珪岩 12. シルト岩・珪質粘土岩の「カトイシュ」* 13. 各種岩石の礫 14. 深海海成堆積物 15. 中深海海成堆積物 16. 近海海成堆積物 17. 海灣-瀉成堆積物 18. 亜大陸成堆積物 19. 海-三角州堆積物 (a. 沿岸成, b. 海灣-瀉成) 20. 含銅砂岩層準 (I型鉱床) 21. 含銅シルト岩層準 (II型鉱床) 22. 海進-海退輪廻 (a. 海進線, b. 海退線)

第2図 ウドカン系の岩相柱状断面

* 「軟らかい塊」の意

ックスが形成されている。花崗岩類はこのコダール・ウドカン構造相帯の大部分の地域を占め、褶曲構造の連続性をこわしている。その貫入作用は側岩である堆積岩に変成作用を与えている。上部原生代の生成になるのはマムスク・オローン・コンプレックスの花崗岩類で、この構造相帯の西部に認められる。後カンブリア紀のマグマ生成体のなかでは、中生代のアルダン・コンプレックスの亜アルカリ岩が目立ち、その岩体は本構造相帯の北東部に分布する。新生代の玄武岩類も南部で古期岩類の被覆岩体を形作っている。

構造上からいえば、コダール・ウドカン帯はチャラ地塊の始生代基盤突出部を南西からゆるやかにとりまく大規模な複向斜である。その複向斜軸の走向は、東部では北東、中央部では東西、西部では北西へと変化している。また、この複向斜の翼は2次褶曲を形作っている。大規模な単褶曲の部分においては、ウドカン系の岩石はもまれていた。始生代の岩層は比較的強い褶曲作用を受けて、褶曲軸の走向が主として北東および東西、ときに北西を示している。コダール・ウドカン帯の卓状地形形成体である新期の堆積岩層の分布は水平か、さもなければ、緩やかな褶曲を特徴としている。これらの堆積岩層の構造面は断層の付近でだけ複雑化している。褶曲構造と並んで、コダール・ウドカン帯には各地質時代・各種オーダーの断裂・断層が広く発達しており、その多くは、長期にわたった発達の歴史をもっている。

本構造相帯では、銅鉱体以外にも、黒色金属、有色金属、貴金属、可燃性生物岩、石材の露頭や鉱徴の存在が知られている。

ウドカン系の層序と生成条件

ウドカン系の標準層序柱状断面は、下部から上部に、スイグイフタ (сыгыха) 累層・オルツウリャフ (ортурых) 累層・ボルウリャフ (борурых) 累層・イカビー (икабий) 累層・アヤーン (аян) 累層・イヌイル (ныыр) 累層・チトカンダ (читканда) 累層・アレクサンドロフカ (Александровка) 累層・ブツン (бутун) 累層・タラカン (талакан) 累層・サクカン (сакукан) 累層・ナーミンガ (наминга) 累層の12累層に区分できる(第2図)。これらの累層はコダール亜系、チナ亜系、カメン亜系の3亜系にまとめられる(サロップ, 1958; トラヴィン, フェオクチントフ, 1964)。

コダール亜系

スイグイフタ累層は暗灰色雲母片岩と、柱状断面上部でシルト質砂岩と互層する片状シルト岩からなる。岩石中には疎に鉱染した磁硫鉄鉱が賦存する。層理は水平、まれには波状もしくは微細な斜層理を示す。柱状断面では、この累層は2亜累層に分けられる。その厚さは1,300mを超える。

オルツウリャフ累層は、多量に磁硫鉄鉱が鉱染した暗灰色および黒色の雲母片岩からなる。岩石中には、水平の層理が認められる。本累層の厚さは1,400~1,450mである。

ボルウリャフ累層は、柱状断面上に雲母片岩と互層した白色珪岩層が存在することを特徴とする。本構造相帯の東部では、この累層の雲母片岩中に炭酸塩に富んだ層が卓越している。本累層の厚さは500~600mである。

イカビー累層は暗灰色雲母片岩の部層を主とし、その各層は磁硫鉄鉱と黄鉄鉱に富む。層理は水平で、本累層の厚さは700mよりも薄くない。

アヤーン累層は、細かく互層した暗灰色および灰色のシルト質砂岩・シルト岩・泥岩からなる。本累層の柱状断面を特徴づけているのは、炭酸塩鉱物に富んだ岩石の間層が大量に存在することである。コダール・ウドカン構造相帯の東部に発達する本累層の岩石の成層面には、多量の澱痕が認められる。岩層の厚さは550mである。

チナ亜系

イヌイル累層は、黒色シルト岩の間層を挟在する灰色の長石—石英質砂岩と石英質細粒砂岩からなっている。本累層の基盤には、石英質グリットストーン (quartzose gritstone) の変化に富んだ層が分布する。コダール・ウドカン構造相帯の東部では、本累層の砂岩中に大きなS状斜層理が認められる。本累層の厚さは400~550mである。

チトカンダ累層は2亜累層に分けられる。下部亜累層は、互層した長石—石英質細粒砂岩・シルト岩・泥岩からなり、膠結物中に炭酸塩鉱物を多く含んだ砂岩層が多量に存在する。岩層の層理は、水平、波状、波状—斜層理、微斜層理である。成層面上に漣痕が認められる。コダール・ウドカン構造相帯の北東部では、本下部亜累層に含銅砂岩層・含銅シルト岩層が胚胎されている。下部亜累層の厚さは300~400mである。上部亜累層は、薄い黒色泥岩間層を挟在した淡色石英—長石質砂岩からなっている。これらの岩層を特徴づけるものは、波状層理および波状斜層理（ときに薄い磁鉄鉱の縞でそれが強調される）、漣痕、乾痕である。上部亜累層の厚さは200~300mである。

アレクサンドロフカ累層は、細かに互層したシルト岩・泥岩・シルト質砂岩・泥灰岩・白雲岩からなっている。これら本累層のすべての岩石は、炭酸塩鉱物と曹長石の含有量が高い。コダール・ウドカン構造相帯の東部では、本累層の岩層の成層面上に多数の漣痕、乾痕・ロイリング構造(roiling structure)が認められる。本累層の柱状断面中には、含銅砂岩層と含銅シルト質砂岩層が分布する。コダール・ウドカン構造相帯の南部と西部の本累層中には、水平に成層した岩層が卓越している。本累層の厚さは140~550mである。

ブツン累層は、互いに互層し合ったシルト岩・泥岩・石灰岩・白雲岩からなり、厚い白雲岩の間層中に藻類の化石が存在する。本累層の岩石はコダール・ウドカン構造相帯北東部で成層構造を残した藤色がかかった灰色の曹長岩に移り変わる。西部では、炭酸塩岩の量が急激に増大している。本累層の厚さは800~1,100mである。

ケメン亜系

タラカン累層は、灰色の長石—石英質および石英—長石質細粒の砂岩・シルト岩・泥岩からなる。岩石の層理は、水平、波状、わずかもしくはきわめてわずかな斜層理を呈している。コダール・ウドカン構造相帯中央部および北東部では本累層の柱状断面上部に、多数の漣痕と乾裂を有する薄い、不規則に互層した部層が分布し、ここに含銅砂岩層と含銅シルト岩層が集中している。累層の厚さは1,100~1,400mである。

サクカン累層は、2亜累層に分けられる。下部亜累層は、細・疎な斜層理、まれには水平の層理（磁鉄鉱の間層でそれが強調されている）を呈した石英—長石質細粒および中粒砂岩で構成されている。この下部亜累層下位に火成岩および変成岩の礫が認められる。この下部亜累層の厚さは1,000~1,700mである。上部亜累層は、シルト岩・泥岩の間層を挟在した長石—石英質および石英—長石質の細粒砂岩で構成されている。これら岩層の層理は、多様で、斜層理、波状層理、水平層理を示している。岩石の成層面上には、漣痕と乾痕が発達している。本コダール・ウドカン構造相帯中央部におけるこの亜累層の柱状断面では、3部層に分けられる。中部部層には含銅砂岩層が分布する。上部亜累層の厚さは750~800mである。

ナーミンガ累層は、多数の漣痕と乾裂を有するシルト岩・泥岩・シルト質砂岩からなっている。柱状断面では、2亜累層に分けられ、下部亜累層中に含銅シルト岩層が分布する。本累層の厚さは950~1,000mである。

ウドカン系の総層厚は11,000~12,000mである。

ウドカン系の岩石は、比較的変成度が低く、その広域変成は緑色片岩相に限られている。また、岩石の変成度が低いため、初成堆積物の特徴を十分に残しており、そのことがウドカン系

の生成条件を復元してみることを可能にしている。

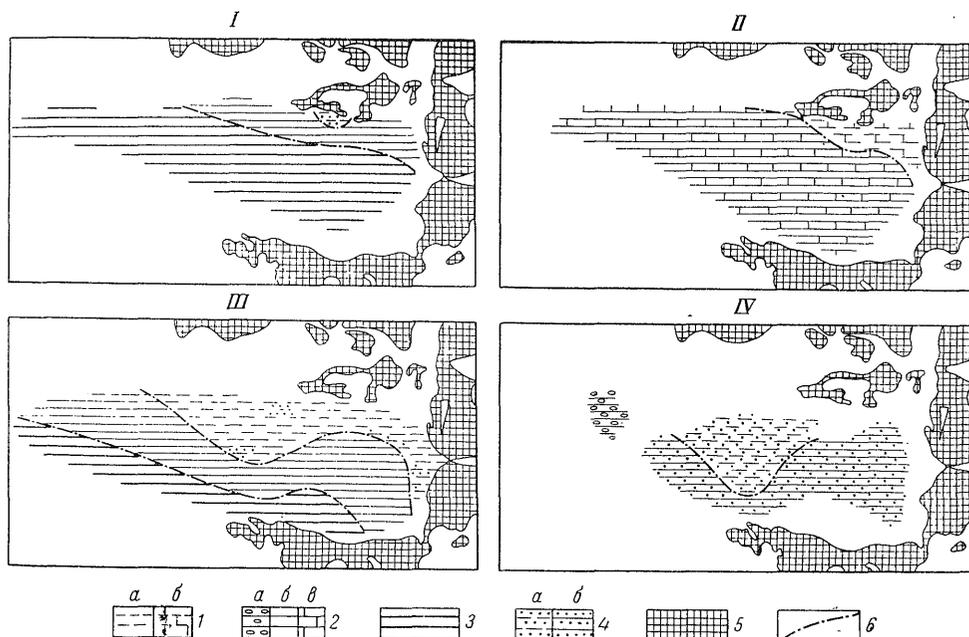
ウドカン系の堆積リズムの解析結果は、本系の生成史を3期の海進-海退堆積輪廻 (大輪廻 (megacycle), 第2図参照) に分けることができることを示している。それぞれの大輪廻は海進に始まり、海盆の長期にわたる海退で終わっている。その際、各大輪廻の海退期には、ウドカン系の主要含銅堆積岩層の生成にきわめて重要な役割を果たしたセカンド・オーダー (中輪廻 mesocycle) の海進-海退輪廻が生じている。

下部大輪廻の期間にはコダール亜系の主として細粒質陸生層の堆積が行なわれ、その総層厚はコダール・ウドカン構造相帯東部の1,700mから西部の4,200mまでの間の範囲である。全体として、この大輪廻の特徴は、深海堆積物が近海海成堆積物と海湾-潟成堆積物に逐次移り変わることである。この下部大輪廻の海退期に、海盆のセカンド・オーダーの3海退期に相当する3回の中輪廻が認められる。

中部大輪廻の期間には、総層厚2,500~3,000mのチーナ亜系堆積層が形成された。この大輪廻の特徴は、海盆の大きな範囲の海退を反映した近海海成堆積層が海湾-潟成堆積層 (諸所でその中に三角州成堆積物が発達する) と亜陸成堆積層 (塩岩層を伴う) に逐次移り変わることである。

上部大輪廻の期間には、総層厚3,000~4,000mのケメン亜系の堆積層が形成された。この上部大輪廻の特徴は、中深度近海海成堆積層が三角州成堆積物と海湾-潟成堆積物に移り変わることにある。そしてこの上部大輪廻の海退期はまた、3期中の輪廻に分かれている。

ウドカン系堆積層の形成条件の時期的変化 (柱状断面による) とともに、コダール・ウドカン構造相帯全域にわたって各累層の堆積条件も一定ではなかった。すなわち、コダール・ウドカン構造相帯各地区の柱状断面を研究した結果から、全累層の堆積条件が海岸線から遠ざかり、堆積盆の深さを増すに従って北および北東から南および南西の方向に変化することがわか



I. 下部チトカングダ亜累層上部 II. アレクサンドロフカ累層 III. タラカン累層上部 IV. サクカン累層上部
 1. 海湾-潟成浅海堆積物 (a. シルト-砂堆積物, δ. 炭酸塩-陸生堆積物) 2. 海盆近海成堆積物 (a. 礫-砂堆積物, δ. シルト-砂堆積物, B. 炭酸塩-陸生堆積物) 3. 海盆中深海帯堆積物 (砂-シルト堆積物・シルト堆積物) 4. 海三角州堆積物 (a. 海湾-潟成堆積物中のもの, δ. 近海海成堆積物中のもの) 5. 始生代基盤岩露頭 6. 各種堆積相堆積物の分布範囲の推定境界線

第3図 堆積時代別コダール・ウドカン構造相帯下部原生代堆積岩-岩相模式図

った。この変化により、コダール・ウドカン構造相帯の北東部（海食区域に近いところ）には全累層の最浅海成堆積物が発達し、南に向って次第に比較的深海成の堆積物に変わっている。このような、ウドカン系の岩石組成と柱状断面構成の規則的な変化は、海食区域の境界に平行と思われる南東—北西および東南東—西北西方向に伸びた帯状の、相のさまざまな堆積層の配列を生じた原因となっている（第3図）。

含銅堆積岩層の特徴

コダール・ウドカン構造相帯内に発達する含銅砂岩および含銅シルト岩は、ウドカン系柱状断面中で層序上一定した位置を占めている。これらの岩石は、チトカンダ累層・アレクサンドロフカ累層・ブツン累層・タラカン累層・サクカン累層・ナーミンガ累層中に存在する。主な銅鉱化体部分は、チトカンダ累層下部、タラカン累層上部、サクカン累層上部の計3層位部分に集中し、それらの層位間の垂直距離はそれぞれ2,500mと1,500mである。

含銅堆積岩層の岩相の特徴

ウドカン系柱状断面の各部分に位置する含銅堆積層は、岩相の特徴がよく似ている。すなわち、同岩層は砂岩・シルト質砂岩・シルト岩、まれには泥岩・礫岩—角礫岩・砂質石灰岩からなる。これらの岩石の碎屑物としては石英と斜長石（曹長石・曹長石—灰曹長石）が圧倒的に多く、中性および塩基性組成の斜長石、微斜長石、微珪岩の碎片、微ペグマタイト・酸性噴出岩の碎片、副成鉱物（磁鉄鉱・含チタン磁鉄鉱・チタン鉄鉱・マータイト・赤鉄鉱・ジルコン・燐灰石・電気石・金紅石・白チタン石・チタン石）も認められる。

柱状断面の中で広く発達しているのは砂岩であるが、この砂岩は構成碎屑粒の組成・粒度・円磨度・淘汰度、さらに膠結物の組成とタイプに差異がある。いちじるしく卓越しているのは絹雲母—石英・方解石—絹雲母—石英・方解石をそれぞれ膠結物とした細粒および中粒の長石—石英質砂岩と石英—長石質砂岩^{注6)}である。シルト質砂岩とシルト岩も多量に分布している。

含銅層準は、次のタイプの層理によって、特徴づけられている。すなわち斜層理、波状斜層理、波状層理、水平層理である。その層理は各堆積縞の粒度組成と鉱物組成の差異、および膠結物の種類と組成によって生じている。層理は磁鉄鉱・ジルコン・電気石その他の「天然淘汰」重鉱物および硫化鉱物からなる単層と石英—長石組成の単層との互層によって一目瞭然なことがまれでない。含銅層準の場合に圧倒的に多い層理型式は、一方向および扇形の大小の斜層理である。その斜層理系の長さは3—10m、幅は1—5m、厚さは0.05mから1.0mの範囲にあり、この斜層理系中の単層面は、同系の凹曲した基盤面に対し直線的もしくは緩く湾曲している。そして、その単層面の傾斜角は数度から35°の範囲の値を示している。また、この単層は0.1mm前後から0.5~2.0cmの厚さを有し、まれには、その単層中に弱い周期的淘汰作用が認められる。

含銅堆積岩層の成層構造は、その面上に形や規模のさまざまな多数の漣痕・流痕・波痕・乾痕・雨痕・スランピング痕 (slumping mark) で代表されている。

含銅層準の堆積物は続成変質、後続成変質、変成という後堆積過程の作用を受けており、その諸作用の影響は外貌、構造の特徴、部分的な鉱物組成がそれぞれ変化することの中に現われている。

含銅堆積岩層の堆積相の特徴が類似しているという多くの示徴と並んで、その含銅堆積岩層の形成条件に一定の差異が認められる。その相違点から本含銅堆積岩層を銅鉱化体の濃集規模が本質的に異なった2種のタイプに区分することができる。第1のタイプの含銅堆積岩層に入るのは多量に銅鉱物が濃集していることを特徴とする含銅砂岩で、一般に走向延長があまりきいていない厚い含銅層で構成されている。第2のタイプに属するのは走向方向の延長がきいて

注6) ソ連では、石英—長石質砂岩 (quartz-feldspathic sandstone) と表現するときは石英>長石の意である。

いる、銅品位の比較的低い、薄い含銅層を形作った含銅シルト岩である。

第1のタイプの含銅砂岩層はチトカンダ累層下部亜累層(クラスヌイ鉱床)、タラカン累層(ブルバラ露頭、ウンクル露頭、クリューグヴェンノエ露頭、スレドネータラカン露頭、スコリスコエ露頭)、サクカン累層上部亜累層(ウドカン鉱床、ブルングナ露頭)中に存在する。このタイプのもっともよく研究されている含銅堆積岩層(ウドカン鉱床とクラスヌイ鉱床)は、礫岩—角礫岩・砂岩・シルト質砂岩・シルト岩・泥岩の周期的互層を特徴とする。その1周期分の厚さは3mから15mの範囲内にあり、含銅堆積岩層と各鉱石部層の柱状断面の上部になるにつれてしだいに薄くなる。全体として、その周期的構造は次のようなものである。すなわち、それぞれの周期の下位部分には方解石—絹雲母—石英に膠結された主として粗ないし中規模の斜層理を呈する中粒および多様な粒度の石英質砂岩と長石—石英質砂岩が発達する。しかし、上位部分ではそれが方解石—絹雲母—石英および方解石をそれぞれ膠結物とする中規模ないし微細斜層理を呈した中粒・細粒の長石—石英質砂岩にしだいに移り変わっている。その周期は、絹雲母—石英で膠結された、水平および波状の成層した細粒の石英—長石質砂岩と長石—石英質砂岩で終わっている。含銅堆積岩層の柱状断面は上部に向かうにつれてその1周期層の厚さがしだいに減少すると同時に、碎屑物の粒径が減少し、波状斜層理、波状層理、水平層理を有する岩層の役割が増し、石英—長石質砂岩とその珪岩様岩石の葉層の量も、シルト質砂岩・シルト岩・泥岩の葉層の数も増大する。上位の周期は下位の周期の岩石の水蝕面上に分布した、方解石に膠結された斜層理砂岩に始まることが多い。最上位の周期では、通常、斜層理砂岩が小規模なレンズ状層を形作っているか、さもなければほとんど賦存していない。

各周期の中では、南西および西に、まれには南東(したがって45°から180°の扇形状に)斜層理葉層がかなり一定した傾斜を示している。このような扇状に分布する斜層理葉層は、周知のように、三角州の多段階性河成砂岩を特徴づけるものである(Бакун, Кренделев, Володин, 1958)。

このように、第1のタイプの鉱床・露頭を有する含銅堆積岩層の堆積相上の特徴は、その形成作用が三角州で行なわれたことを示している。そこには、三角州堆積物中に銅が大きく濃集するのに必要な条件の1つ——外海から三角州水域を区切る大規模なデルタ前縁の砂州の存在——があったのである。

第2のタイプの含銅堆積岩層は、非常に広い範囲にわたって追跡できる含銅シルト岩と含銅シルト質砂岩からなっている。これに該当するのはアレクサンドロフカ累層とナーミンガ累層の含銅層準であり、チトカンダ累層とタラカン累層の幾つかの層準である。このタイプに属する含銅層準は、水平層理・波状層理・波状斜層理を有する、漣痕や乾裂に富んだシルト岩・泥岩・シルト質砂岩の互層からなっている。この含銅シルト岩層準の堆積相上の特徴および他種の相タイプの岩石との分布上の関係は、この含銅シルト岩が沿岸成ないし海湾—潟成の浅海生成物であることを示している。

以上の2種のタイプの鉱床および露頭は、分布範囲と分布断面に密接な結びつきをもっていることが認められる。その生成史は、ウドカン系の柱状断面(第2図参照)における上記両タイプの鉱床および露頭の配列上の性質に応じ、チトカンダ累層・アレクサンドロフカ累層・ブツン累層の含銅堆積岩層を1つにまとめた下部銅鉱集積期、タラカン累層上部の含銅層を内容とした中部銅鉱集積期、サクカン累層とナーミンガ累層上部の含銅層を1つにまとめた上部銅鉱集積期の3期に分けることができる。この3銅鉱集積期は、銅鉱が集積しなかった時代(period)で区切られる。両タイプの鉱床の賦存状態はそれぞれの銅鉱集積期の特徴をあらわし、柱状断面の下位から上位に第2タイプの鉱床が第1タイプの鉱床に富んだ層準に変わっているのである。両タイプの鉱床が分布平面上密接な関係をもっていること、および鉱体の走向方向に1つのタイプのものからもう1つのタイプのものに相互に移り変わること(クラスヌイ鉱床、ウンクル露頭など)は、両者が成因的に関連をもっており、共通した源から生成し、かつ

両タイプに共通した特定の銅鉱集積期に生成したことを証明している。

鉱化作用の特徴と鉱石の鉱物組成

含銅堆積岩層内では、厳密に安定・連続した可採層準は認められていない。各鉱体が立体的配列上おおむね一定した規則性を有するだけである。もっとも広範に分布するのは、平面で帯状を、横断面でレンズ状を呈する鉱体である。そして、それらの鉱体は古水盆の海岸沿いに分布しているのが特徴的である。銅品位の高い鉱体は三角州の海岸堆積物に該当し、その中には河成砂質堆積物が広く発達している。まれには、海三角州の古河床の流路に沿ってレンズ状鉱体が賦存する。鉱化層とそれを分けている非含銅層の延長はさまざまで、そのため、水平断面と垂直断面での鉱体の輪郭はきわめて不規則で、鋸歯状を呈する。複雑に組み合った雁行状の、横断面での規模が小さい各帯状鉱体は厚さが大きく、延長が長い大規模な単位鉱体を形作っている。

含銅砂岩と含銅シルト岩の鉱床および露頭中の初成銅鉱化作用は、主として輝銅鉱・斑銅鉱・黄銅鉱に代表される。そのほかの硫化物としては、通常、黄鉄鉱が賦存している。別の鉱床と露頭では、黄鉄鉱のほかに磁硫鉄鉱が広く発達して輝銅鉱を欠く。それだけでなく、自生の磁鉄鉱と含チタン磁鉄鉱の碎屑およびそれから発達した赤鉄鉱が大量に存在することもある。含銅砂岩と含銅シルト岩にまれな鉱物として賦存するものに、バレリアイト・輝水鉛鉱・閃亜鉛鉱・白鉄鉱・砒四面銅鉱・ポリディマイト(?)・輝コバルト鉱・硫コバルト鉱・硫砒鉄鉱・方鉛鉱・自然銀・自然着鉛・自然錫・エレクトラム・輝銅銀鉱がある。金属鉱物は岩石の膠結物中の鉱染体、鉱のう状・レンズ状の集積体、硫化物鉱石の薄層を形作っている。硫化物鉱物の鉱染体は、ときに微粒で顕微鏡的に識別できないこともある。硫化物鉱物は母岩の構造の特徴（斜層理、波状斜層理、波状層理、漣痕）を鮮明にすることがまれでない。銅の硫化物鉱物は礫岩一角礫岩中の破片をとりまく集積物を形作ることが、また角礫質砂岩を膠結していることがある。高品位の縞状鉱および鉱染—縞状鉱中には、諸所に、小さな割れ目に胚胎された石英—硫化物細脈が発達している。

初成鉱石のうちでもっとも多く分布しているのは、黄銅鉱—黄鉄鉱々石（ところによっては黄銅鉱—磁硫鉄鉱々石）と斑銅鉱—輝銅鉱々石である。後者は、多くの場合、多量の磁鉄鉱と赤鉄鉱を含んでいる。この一次鉱石は、鉱染状、縞状、縁どり状 (limbate)、角礫状、斑状、微脈—鉱染状などの構造を特徴とする。もっとも代表的な鉱石組織は、モルタル組織、他形粒状組織、文象状組織、格子状組織、エマルジョン組織、網状組織、インタースティシャル (interstitial) 組織である。

含銅層中における硫化物鉱物の配列には、後退系列 (regressive order) 型の明瞭な累帯分布が認められる。このような累帯配列は、いちじるしく黄鉄鉱に富んだ黄銅鉱・斑銅鉱—輝銅鉱帯の鉱体の厚さ・走向・傾斜の逐次的な変化となって現われている。

鉱体の厚さの変化は、海退現象と関係が深い (Домарев и Богданов, 1959)。鉱体の走向および傾斜による累帯配列形成の原因は、さらに複雑である。この種の累帯配列は、第1に堆積作用が働いた水盆のその深さ (海岸線からのその分帯の距離)、第2に三角州の水面下の部分における大きな河床流の存在に起因する。地表下の深さ1,000m前後までの試錐や地表露頭で認められるこの堆積累帯状況は、酸化帯および2次硫化物富化帯の発達が弱いことを示している。

広域変成作用によって生じた変質は、含銅層中における鉱石構成物質の本質的な移動をもたらさなかった。変成作用の現われは、鉱石構成物質の再結晶作用と硫化物間相互関係を幾らか変えた変化とにみられるだけである。それよりも本質的な変質作用を受けているのは、花崗岩類の侵入岩および岩脈に接した含銅砂岩である (Богданов, 1963)。外接触帯 (zone of exo-contact) では、その含銅砂岩がざくろ石—、角閃石—、緑簾石—ホルンフェルスないし珪岩に変わっている。そして銅の硫化物は、ホルンフェルス中で斑晶状ないし微脈状を呈するよ

うになる。はんれい岩—輝緑岩々脈の内接触部 (endo-contact) では、それが含銅砂岩を切っている部分に含銅砂岩の捕獲岩が、また、硫化鉱物（黄銅鉱・斑銅鉱・輝銅鉱など）の鉱染体、鉱のう、細脈が認められる。このように、岩脈が硫化鉱物に富むようになったのは、外接触帯に分布する含銅砂岩からとり込んだためである。

鉱物の累帯配列と鉱石鉱物の濃集を形作るときにきわめて重要な役割を果たしたのは、強く働いた続成作用と後続成作用である。その作用の結果、鉱石物質の本性が堆積性であるにもかかわらず、コダール・ウドカン構造相帯の銅鉱床は多元性 (polygenetic) のものとなり、含銅砂岩型の被変成堆積鉱床に属するものとなったのである。

含銅砂岩の分布規則性

調査・探査作業のもっとも合理的な方向を選択するためには、鉱床の地質学的生成条件の研究を基礎に当該有用鉱物の分布規則性を確認することが必要である。

コダール・ウドカン構造相帯区域内の含銅砂岩鉱床の分布には、鉱化作用の層位・相・堆積岩による規制がきわめて明瞭に現われている。

層位規制は、すでに述べたように、既知のすべての銅露頭・鉱床がウドカン系柱状断面で特定の層位に分布することに示されている。

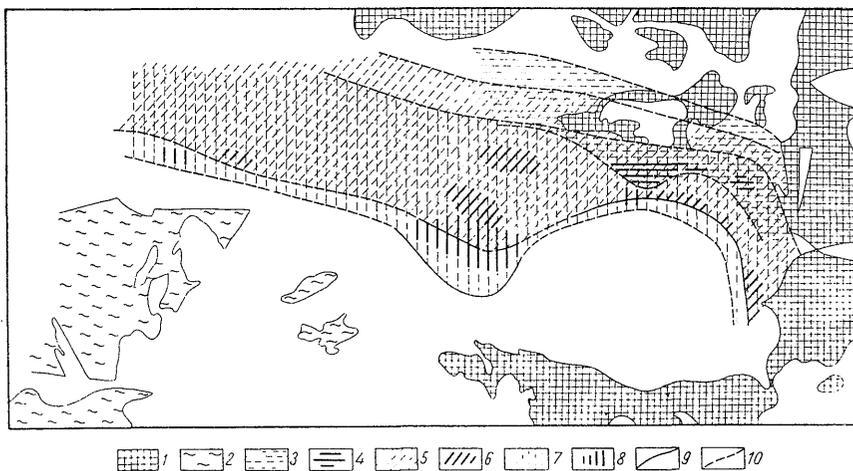
鉱化作用の相規制は、含銅砂岩が堆積輪廻の実際部分に対して示すその性質に現われ、含銅砂岩は特定の堆積相コンプレックス中に賦存する。銅の鉱体の生成は、似た相条件の中で堆積物を形成したその輪廻の最終期である。そして、銅鉱体は三角州成および海湾—潟性の砂質堆積物とシルト質堆積物に胚胎されている。銅をもっとも多量に濃集しているものが、外海と砂州で分けられていたと思われる海湾—潟性の浅海で洗われた三角州堆積層に胚胎されていることは大きな特徴である（第1タイプの鉱床）。個々の三角州性潟の中に、河水によってそこへ搬びこまれた含銅溶液から銅鉱物が沈殿するのに適した条件が生じたわけである。砂州が形作られていない場合には、鉱化作用が広い面積の三角州全体にわたって拡がり、そこに分散してしまう。したがって含銅地表水が大きな湾や潟に流れ込むと、硫化物の鉱化作用は、通常、広い面積にわたっていちじるしく分散し、含銅品位の低い沈殿を招くこととなる（第2タイプの鉱床）。そのため、相的な環境は初成銅鉱集積過程に非常に重要な役割を果たしている。コダール・ウドカン構造相帯の区域内では、すべての高品位銅鉱体は海湾—潟性浅海に発達した三角州の水面下堆積物に属する。鉱化作用の強くないのは、浅い海水盆の湾や潟の沿岸帯堆積物の特徴である。

銅鉱化作用の普遍的な相規制とともに、鉱化体の累帯配列が三角州堆積層の各種相タイプの分布特徴に規制される場合も認められる。輝銅鉱と斑銅鉱の鉱染体が沿岸帯堆積物に、黄銅鉱と黄鉄鉱の鉱染体が水面下三角州の前砂州帯に属することは1つの特徴である。

鉱化体の累帯配列は、おそらく、主に続成変質と後続成変質の段階で現われ、三角州成堆積物および浅い沿岸海成堆積物中に含まれた有機物の分布の特徴にいちじるしく規制される。

鉱化体の堆積岩規制は、かなり明瞭で、銅の濃集をもたらす上で大きな役割を果たしている。堆積岩の各種類にそれぞれ特有な、特定の組成と品位の鉱石が賦存する。黄鉄鉱—黄銅鉱鉱体は、通常、よく円琢され中程度に淘汰された砕屑物と方解石—絹雲母—石英膠結物からなる細粒および中粒長石—石英質大型斜層理砂岩に胚胎されている。まれには、黄鉄鉱と黄銅鉱の鉱染体が細粒砂岩と細かく互層した水平層理および波状層理を示すシルト岩・シルト質砂岩中に賦存することがあり、その場合の層理は硫化鉱物の縞状集合体によって明瞭に浮き出されている。銅の集積に適した環境として特徴づけられる分帯の外側では、上に挙げた種類の堆積岩が不毛なものとなっていることが多く、まれにその中に斑銅鉱と輝銅鉱の鉱染体が認められるにすぎない。

輝銅鉱—斑銅鉱鉱化体は、1) 輝銅鉱と斑銅鉱だけの鉱染体の特徴の、ときには磁鉄鉱に幾ら



1. 始生代基盤岩露頭 2. シュリバーン層 3. チトカンダ累層・アレクサンドロフカ累層銅鉱集積可能相分布範囲（チトカンダ-アレクサンドロフカ帯） 4. チトカンダ-アレクサンドロフカ帯確認含銅層露頭 5. タラカン累層上部銅鉱集積可能相分布範囲（上部タラカン帯） 6. 上部タラカン帯確認含銅層露頭 7. サクカン累層上部銅鉱集積可能相分布範囲（上部サクカン帯） 8. 上部サクカン帯確認含銅層露頭 9. 各分帯の確定境界 10. 各分帯の推定境界

第4図 コダール・ウドカン構造相帯ウドカン系の銅鉱集積に適した相の分布模式図

か富んだ珪岩様長石—石英質および石英—長石質楔形斜層理砂岩、2) ただ一つの可能な硫化鉱物として輝銅鉱と斑銅鉱が存在する、磁鉄鉱にいちじるしく富んだ砂岩、3) 波状層理シルト質砂岩および石英—長石質細粒砂岩、の3種の堆積岩種に胚胎されていることが多い。後二者中には、しばしば、浅海条件下での堆積物であることを証明する水蝕面と乾裂が認められる。幾つかの堆積岩種は、硫化物鉱染体の生成に関係をもっていない。そのような堆積岩種としてまず第1にあげられるのが方解石で膠結された砂岩であり、方解石—絹雲母—石英に膠結された水平層理および大規模斜層理を呈する砂岩であるが、これらはいずれも「thoroughly」相の堆積物、すなわち不均一な相条件下で生成した堆積物に相当する。岩石の種類という要素の影響は、おそらく後続成作用の過程で一段と大きくなり、そのときに2次的な炭酸塩鉱物化作用、珪化作用、硫化物の再沈殿作用が行なわれたものと思われる。

堆積相模式図（第3図参照）で明らかのように、銅鉱の集積に適した堆積相コンプレックスの堆積はウドカン系に共通した形成作用の規則性に従い、コダール・ウドカン構造相帯の範囲内ではその北部および北東部に延びた分帯として配列している。この銅鉱賦存帯はまた3帯に分けられる。すなわち、それが、それぞれの累層の含銅砂岩・含銅シルト岩層準を内容としたチトカンダ-アレクサンドロフカ帯、上部タラカン帯、上部サクカン帯の3帯である（第4図）。そして、層位柱状断面中における含銅層準の位置とコダール・ウドカン構造相帯内でのその配列との間には一定の相関関係が認められ、含銅層準が上位に位置すればするほど、その発達帯は南に配列している。このような含銅堆積物の分布はこの地域の海退の性質に左右され、南および南西に堆積盆の海岸線が徐々に移動したことを示している。

ウドカン系の堆積層を形成した碎屑物の起源は、始生代の結晶片岩・珪岩・片麻岩である。これは、碎屑物が始生代岩石の発達地域の側から剝削・運搬された形とウドカン系陸生堆積物および始生代岩石の鉱物組成の同一性によって確認できる。ウドカン系上部の累層の岩石中における磁鉄鉱と赤鉄鉱の碎屑物の含有品位が高いことは、その源がアルダン地区のもっとも古期の始生代岩系——イネングラ系——中の磁鉄鉱を含んだ岩石であろうということを示している。このイネングラ系の磁鉄鉱珪岩層準中には、多量の銅分が認められている（Сердюченкоら、1960）。銅鉱化作用は、アルダン楕状地東部に分布するタイガー鉱床、ピオネール鉱床、デ

スカ鉱床、そしてとくにシヴァグリ鉱床の鉄鉱石とその母岩に広く発達している。銅の品位が幾らか高いのは、チャラ地塊の磁鉄鉱珪岩と塩基性岩の場合の特徴でもある。スピライト・ケラトファイア岩系の岩石が発達するバイカル構造地塊内帯のムイスク帯の側から部分的に銅が移動した可能性がないわけではない。

以上を総括すると、コダール・ウドカン構造相帯内における含銅砂岩および含銅シルト岩の分布規則性と地質学的生成条件について、次のような結論が得られる。

1. 含銅砂岩の鉱床および露頭は、下部原生代ウドカン系の柱状層位断面の特定部位に胚胎されている。その銅鉱化体は、ウドカン系柱状断面の中部と上部に分布するチトカング累層、アレクサンドロフカ累層、プツン累層、タラカン累層、サクカン累層、ナーミンガ累層の堆積層中に認められる。含銅砂岩のもっとも大規模に銅が濃集している部分は、チトカング累層、タラカン累層、サクカン累層中に賦存する。

2. 銅鉱化体のうち、とくに高品位で濃集しているものは砂岩を母岩とすることが多く、まれには海湾—潟成浅海で発達した三角州のシルト岩質堆積物を母岩としている(第1タイプの鉱化作用)。比較的小規模の銅鉱化体は浅海性の近海海成堆積物の場合の特徴であり、その中には三角州堆積層が存在しないか、あるいはほとんど発達していない(第2タイプの鉱化作用)。

3. 銅の起源とその運搬地域に関連の深い、上記含銅相の帯状配列が明らかに認められる。そして、その配列は現在のチャラ地塊南側境界に平行に伸びる3帯に分けられる。

4. コダール・ウドカン構造相帯の地質発展史の中で銅賦存帯と層位をそれぞれ3帯に区分した結果に対応して、3期の銅賦生成成期が設定できる。それぞれの生成期に、第1・第2両タイプの銅鉱化体が生成している。その生成期の中でもっとも早期のものはチトカング累層・アレクサンドロフカ累層、プツン累層の含銅堆積物の集積時期に、中期の生成期はタラカン累層の、後期のものは上部サクカン亜累層とナーミンガ累層の含銅堆積物の集積時期に相当する。銅賦集積作用の強さは、早期の生成期から後期の生成期に向かって大きくなっている。

5. 各含銅層準範囲内での鉱化体の配列は、明らかに相および岩石種の要素に規制されている。鉱化体の累帯配列の堆積相規制は、おそらく、堆積条件および三角州堆積物と近海海成堆積物中の有機物の分布特徴と関係が深い。鉱層の厚み方向に次のような海退型の累帯配列、すなわち黄鉄鉱—黄銅鉱—斑銅鉱—輝銅鉱(下位から上位へ)という累帯配列が認められる。

6. ウドカン系を切るマグマ生成体は含銅層準に接触作用を与え、接触部近辺における鉱石物質の再配列をもたらしている。このことは、貫入時期よりも早期に銅鉱化体が生じたことを証明している。

7. 褶曲転動および断層転位は後鉱化期のものである。断層転位部の付近では、含銅砂岩層準の転位が認められる。しかしその際には、鉱石物質の再配列が生じていない。

8. 本地域の銅鉱化体は、その母岩の生成と同生の、一次堆積起源のものである。しかし、銅の同生濃集体の品位はおそらくきわめて低いものであろう。きわめて品位の高い銅鉱化体が生成したのは、堆積にひきつづいた続成作用と、とくに後続成作用の結果である。したがって、コダール・ウドカン構造相帯の鉱床および露頭は多成因によるものであり、生成条件からも、鉱化作用の性質からみても、これらの鉱床は各種タイプの含銅砂岩鉱床と多くの共通点をもっている。

9. コダール・ウドカン構造相帯における銅の新鉱床探査に有望な地域は、各銅賦存帯内に分布する上述の諸累層の三角州堆積層の発達する地域である。その場合、鉱化体の規模が下部の銅賦存帯から上部の銅賦存帯に向かって大きくなっていることを考えに入れなくてはならない。下部銅賦存帯内には、銅鉱化体の分布面積が非常に広いことおよび含銅品位が高くないことを特徴とした主として第2タイプ——含銅シルト岩型——の銅鉱化体の露頭が認められる。クラスヌイ鉱床区域にだけ、第1タイプ型——含銅砂岩型——の鉱化体が生じている。中部銅賦存帯を特徴づけるのは、主として含銅砂岩と関連して銅鉱化作用の集中度が高い

ちじるしいことである。含銅砂岩型の、もっとも大規模な銅濃集体は上部銅賦存帯内に、ウドカン鉱床地域に集まっている。ウドカン鉱床と同様なものはまだ知られていないが、サクカン累層の分布地域は地質調査・研究事業の中でもっとも詳しく研究する必要がある。

コダール・ウドカン構造相帯区域において銅賦床を探索する際には、各銅賦存帯の南側境界から北側境界に向かって配列したすべての区域が注目に値する（第4図参照）。しかもとくに有望なものとして、この構造相帯北部および南東部の、各銅賦存帯内に位置した新期沈降盆地の主部があげられる。この部分にウドカン系含銅層準の大部分が潜在するものと考えられる。

文 献

- Бакун Н. Н. et al. (1958) : Основные особенности геологического строения Удоканского месторождения медистых песчаников и направление его дальнейшей разведки (ウドカン含銅砂岩鉱床の地質構造の特徴と今後の探査の方向). Изв. вуз, Геология и разведка, no. 5.
- Богданов Ю. В. (1963) : Контактный метаморфизм медистых песчаников в районе Удоканского месторождения (ウドカン鉱床地域における含銅砂岩の接触変成). Зал. Всесоюзн. минерал. о-ва, ч. 87, вып. 5.
- Домарев В. С. & Богданов Ю. В. (1959) : О зональности оруденения в медистых песчаниках Удоканского месторождения (ウドカン鉱床含銅砂岩中における鉱化体の累帯配列について). Геология рудных месторождений, no. 1.
- Салоп Л. И. (1958) : Стратиграфия докембрия Байкальской горной страны (バイカル山岳区先カンブリア系の層序). Тр. Междувед. стратиграф. совещ. по разработке унифиу. стратиграф. схем Сибири. Изд. АН СССР.
- Сердюченко Д. П. et al. (1960) : Железные руды Южной Якутии. (南ヤクート地方の鉱鉄). Изв. АН СССР.
- Травин Л. В. & Феокистов В. П. (1964) : Стратиграфия удоканской серии Кодаро-Удоканской зоны (コダール・ウドカン帯ウドカン系の層序). Тазисы докладов I научн. конференции геолог. секции забайкальского отдела Всесоюзн. географ. о-ва. Чита.