

В. И. ЗУЕВ

**ПАРАГЕНЕЗИС ВАНАДИЕВЫХ МИНЕРАЛОВ
В ОДНОМ ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО
ЗАБАЙКАЛЬЯ**

Автором настоящей статьи в Восточном Забайкалье было обнаружено жильное тело с ванадинитом в зоне окисления и первичным патронитом¹.

Ванадинит и сопутствующие ему минералы приурочены к кварцевой жиле, мощность которой колеблется в пределах от 2 до 25 см. Вмещающей породой жилы является биотитово-роговообманковый гранит; контакт последнего с рудным телом резкий.

Зона интенсивного окисления кварцевой жилы составляет 2 м, менее окисленная часть — 3 м, ниже следует зона первичных руд.

Характерной особенностью месторождения является широкое развитие и разнообразие минералов зоны окисления. В зоне окисления пирит, галенит, халькопирит, сохранившиеся от процессов окисления и выщелачивания, цементируются пестроцветными глинами; последние изобилуют иногда минералами окисленной зоны — ванадинитом, чиллагитом, вульфенитом, купродеклуазитом, церусситом, малахитом, азуритом и гидроокислами железа.

В состав первичных рудных минералов входят пирит двух генераций, халькопирит, патронит, золото; из нерудных — кварц двух генераций. В окисленной зоне рудного тела были встречены реликты псеелита, вольфрамита и галенита.

В кварцевой жиле наблюдаются многочисленные участки дробления. Между обломками кварца, а иногда и в пустотах друзовидных образований кварца, в центральной части жилы, наблюдаются полоски пестрых глин от фиолетового до оранжево-буро-красного цвета.

Приведем описание основных минералов.

Ванадинит является наиболее распространенным минералом и типичным представителем окисленной зоны. Ванадинит и сопутствующие ему минералы встречаются в пестроцветных глинах, заполняющих трещины в кварцевой жиле, и значительно реже в трещинах и в глинке трения близ контакта с биотитово-роговообманковым гранитом.

В биотитово-роговообманковом граните (на плоскостях трещиноватости) ванадинит обычно образует корочки (рис. 1).

¹ Патронит ранее в месторождениях Советского Союза не отмечался.

Наблюдались друзы, где кристаллы ванадинита имели радиально-лучистое и параллельное расположение или взаимно перпендикулярные сростки из правильных кристаллов. Нередко, срастаясь, кристаллики ванадинита образуют целые веточки. Двойники редки (рис. 2 и 3).

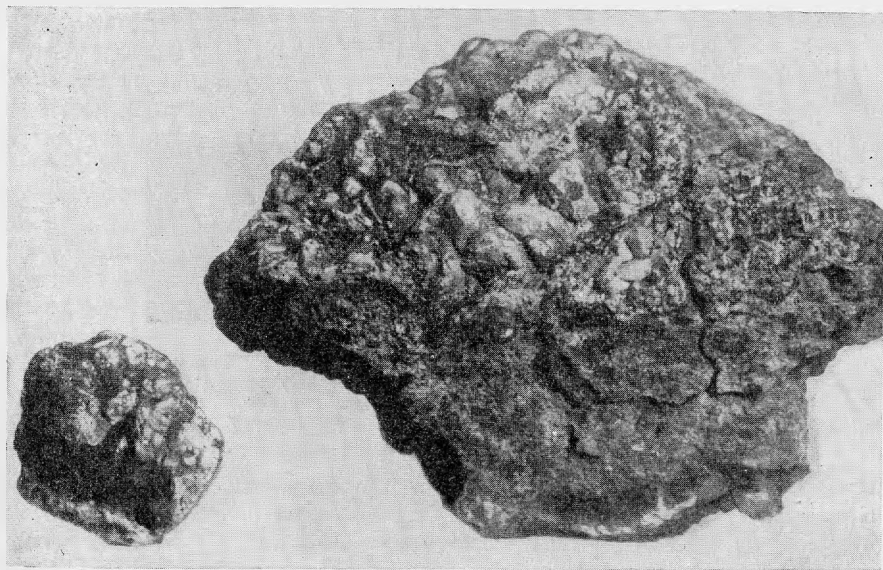


Рис. 1. Корочки ванадинита (белое) на плоскостях трещиноватости в граните (серое). Натур. вел.

Размер кристаллов ванадинита обычно колеблется в пределах от 0,5 до 9 мм в длину и от 0,05 до 5 мм в ширину; лишь в редких случаях длина их достигает 2 см, а ширина 1 см. Для ванадинита характерно наличие на нем тонкой землистой, серовато-белой и реже желтовато-бурой пленки вторичного ванадиевого минерала.



Рис. 2. Параллельные и взаимно перпендикулярные сростки правильных кристаллов ванадинита

Иногда встречаются кристаллы ванадинита двух генераций, причем кристаллы первой генерации обрастают кристаллами второй генерации с иной кристаллографической формой. Так, например, встречен кристалл пирамидальной формы с наросшим на нем кристаллом призматической формы в комбинации с гранями дипирамиды.

Нередко ванадинит наблюдается в сростании с купродеклуазитом, церусситом и чиллагитом.

В ассоциации с ванадинитом находится пироморфит, как бы обволакивающий его кристаллы, в связи с этим грани ванадинита имеют неровную зазубренную поверхность.

Специально отобранные крупные кристаллы ванадинита были подвергнуты химическому анализу¹. Получены следующие результаты: PbO —70,67%; $PbCl_2$ —9,47%; V_2O_5 —17,87%; нераст. остат. 0,50%; потеря при прок. 0,28%; H_2O —0,08%. Сумма 98,87% (P —0,7%; Cl —2,41%; V —10,01%; обр. № 17 и 19).

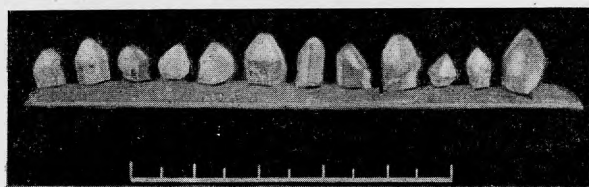


Рис. 3. Кристаллы ванадинита наиболее распространенной формы

Кроме того, спектральным анализом обнаружены следы As , Cu и Mg .

Кристаллы ванадинита имеют в большинстве случаев грани призм и дипирамиды, причем с очень острыми ребрами. Кристаллы чаще не полные — отсутствуют вершинки. Нередко встречаются и таблитчатые кристаллы, где господствующей формой является (0001) . Характерная особенность всех кристаллов ванадинита заключается в том, что поверхность граней призм всегда блестящая (без следов выветривания), а грани головок (дипирамиды) матовые.

Четыре наиболее хорошо сохранившихся со следами значительного выветривания кристалла ванадинита были измерены на гониометре (табл. 1 и рис. 4)².

Таблица 1

Данные измерения на гониометре четырех кристаллов ванадинита

№ граней и обозначения, по Гольдшмидту	Символы в установке Бравэ	Сферические координаты			
		по Зубеву		по Гольдшмидту	
		φ	ρ	φ	ρ
1 (b)	1120	30°	90°00'	30°	90°00'
2 (a)	10 $\bar{1}$ 0	0°	90°00'	0°	90°00'
3 (s)	11 $\bar{2}$ 1	30°	55°30'	30°	54°55'
4 (y)	20 $\bar{2}$ 1	0°	59°10'	0°	58°42'
5 (v)	11 $\bar{2}$ 2	30°	35°38'	30°	35°27'

Вычисленная по этим данным величина $a : c = 1 : 0,7275$.

¹ Анализ выполнен химической лабораторией Восточно-Сибирского Геологического управления.

² Измерения сделаны В. А. Моклевским.

Цвет кристаллов ванадинита бывает желтый, оранжево-желтый, серо-белый, красновато-бурый. Зерна хрупкие, полупросвечивают до прозрачных. Блеск стеклянный, жирный до полуалмазного. Черта белая. Твердость 3. Излом неровный. Удельный вес 6,964 (определен пикнометром). Спайность несовершенная. $Ng-Np = 0,055$.

Ч и л л а г и т образует преимущественно сплошные агрегаты в местах с большим содержанием галенита, замещая последний. В ассоциации с ванадинитом и вульфенитом он встречается по трещинкам в кварце, реже в граните у самого жильного тела и вместе с пестроцветной глиной среди раздробленного кварца. В пестроцветной глине он встречается в виде отдельных зерен, кристаллов таблитчатой формы или в виде сплошных масс. Очень часто наблюдается тесное срастание кристаллов чиллагита с вульфенитом.

Для чиллагита характерна белая, серовато-белая, бурая, зеленовато-желтая и красноватая окраска. Блеск стеклянно-алмазный, шелковистый, жирный. Твердость 3,2. Минерал хрупкий. Удельный вес его 7,3.

В шлифах чиллагит буроватый с высоким рельефом и обычно с волнистым погасанием.

Измерением на Федоровском столике определены: $\angle Cn(113)Ng = 40^\circ$; $\angle Cn(111)Nm = 70^\circ$; $\angle Cn(001)Nm = 0^\circ$.

Данные химического анализа чиллагита *

Компоненты	Чиллагит, Австралия	Исследуемый образец
	вес. %	вес. %
MoO ₃	8,3	16,18
WO ₃	40,2	30,09
PbO	51,5	51,49
CaO	—	1,49
MgO	—	0,11
R ₂ O ₃		0,86
п.п.п.		0,25
H ₂ O ⁻		0,04
Сумма		100,51

* Аналитик Шепетунин.

в значительных количествах отмечается в участках с большим содержанием галенита.

Вульфенит встречается, главным образом, медово-желтый, различных оттенков, ярко-красный, редко бесцветный. Блеск алмазный, жирный в изломе. Твердость 3. Удельный вес 7,0. Спайность по (111) ясная.

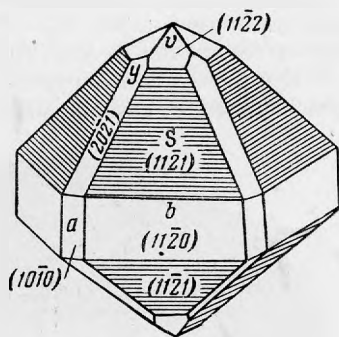


Рис. 4. Чертеж кристалла ванадинита

Минерал одноосный, отрицательный.

Ниже приводится химический анализ чиллагита, произведенный в лаборатории геологического управления г. Иркутска аналитиком Шепетуниным.

Кроме того, спектральным анализом обнаружены Na, Si, As, Fe, Al, Cu, Sb, V, Sn.

В у л ь ф е н и т. Из молибдатов свинца широким распространением в зоне окисления кварцевой жилы пользуется также вульфенит, образующий тончайшие коронки на плоскостях трещинок кварцевой жилы и в граните близ жильного тела. В участках пестроцветной глины наблюдались кристаллы вульфенита в виде квадратных дипирамидок. Часты сростки вульфенита с чиллагитом, галенитом, пиритом и купродеклаузитом. Вульфенит также как и чиллагит, в

Измерением на Федоровском столике определено $\angle \text{Cu (111) Np} = 70^\circ$

В прозрачных шлифах наблюдается прекрасно выраженное зональное строение, проявляющееся в окраске и в погасании.

Купродеклазит наблюдается в небольшом количестве, обычно в виде тонкокристаллических корочек и сплошных масс черного цвета. Размер зерен 0,3—9,0 мм, а иногда в сростах с малахитом, ванадиепитом и реже вульфенитом.

Церуссит встречается в значительном количестве в зернах черного цвета с синеватым оттенком, образуя псевдоморфозы по галениту.



Рис. 5. Патронит (белое) в виде рассеянных, очень мелких кристаллов в кварце (серое). Черное — биотит. Анишлиф, $\times 86$

Пироморфит встречается в незначительных количествах, обычно в пустотах кварца, но часты псевдоморфозы пироморфита по галениту и церусситу. Пироморфит образует, обычно, агрегаты кристаллов игольчатой формы или корочки из мелких диспирамидальных кристалликов. Цвет пироморфита от зеленоватого до буроватого.

Лимонит. Гидроокислы железа отмечаются во всех частях жильного тела и представлены главным образом лимонитом. В участках, обогащенных сульфидами, лимонит образует землистые примазки и плотные корочки.

Малахит имеет весьма ограниченное распространение. Он обычно встречается в виде тонких корочек вместе с азуритом.

Первичными минералами в жильном теле являются пирит, галенит, халькопирит, золото, шеелит, вольфрамит, патронит и кварц; причем галенит, вольфрамит и шеелит встречены в незначительных количествах только в зоне окисления.

Шеелит обнаружен при промывке дробленого материала из зоны окисления, в виде мелких неправильных зерен (размер 0,1—1,5 мм). Цвет белый до бледно-желтоватого.

Вольфрамит в незначительном количестве обнаружен в тех же условиях, что и шеелит, в виде раздробленных зерен размером 0,1—0,5 мм.

Патронит установлен в результате тщательного изучения жильного материала спектральным, химическим анализами и в анишлифах. Вследствие исключительно мелких размеров кристаллов патронита, не представилось возможности изучить его с достаточной полнотой.

Патронит встречается обычно в незначительном количестве в виде рассеянных мельчайших идиоморфных кристалликов (рис. 5) вне связи с другими сульфидами жильного тела. Вкрапленники его в кварце наблюдаются без видимой связи с трещиноватостью.

Микрохимическим анализом получена отчетливая реакция на ванадий. Более крупные кристаллы патронита имеют форму толстых, вытянутых табличек (рис. 6); в шлифах иногда обнаруживается спайность, параллельная удлинению кристаллов. Твердость около 2 (свободно царапается медной иглой). Анизотропен.

Двупреломление в воздухе очень сильное и резко усиливается с иммерсией: R_1 параллельно спайности (и таблитчатости) светло-серый, слегка зеленоватый; R_2 перпендикулярно спайности — темно-серый. Физические и оптические свойства его напоминают во многом молибденит или графит.

Галенит среди первичных рудных минералов не обнаружен. Реликты его встречены, и иногда в значительных количествах, только в зоне окисления, в виде сохранившегося сплошного мелкозернистого «свинчака», обрамленного корочкой из мельчайших кристалликов ванадинита. Обнаруживаются сохранившиеся «желваки» галенита, многочисленные трещинки в котором заполнены ванадинитом.

П и р и т является самым распространенным минералом жильного тела. Он часто встречается в зоне окисления и в довольно значительных количествах среди первичных рудных минералов.

Совершенно четко устанавливаются две генерации пирита. Первая генерация, представленная крупнокристаллическим идиоморфным пиритом, беспорядочно рассеянным по жильному телу, связана с кварцем также первой генерации. Кристаллы пирита размером от 1 до 2 мм, с характерной штриховкой, часто катаклазированы, разбиты сетью трещин, заполненных лимонитом. Местами отдельные зерна пирита замещены лимонитом полностью.

Пирит второй генерации более распространен. Он встречается в виде вкрапленников и зернистых агрегатов. Прожилки пирита второй генерации пересекают кварц первой генерации. В отдельных шлифах наблюдается интенсивное разъедание пирита халькопиритом, что указывает на более раннее его выделение.

Х а л ь к о п и р и т присутствует в незначительном количестве. Его ксеноморфные зерна размером от 0,01 до 0,3 мм рассеяны в кварцевой жиле вместе с пиритом, в виде небольших сплошных масс или в виде мельчайших включений в пирите первой генерации. Катаклазированные кристаллы пирита «залечиваются» по трещинкам халькопиритом. Граница между кварцем и халькопиритом имеет мелкозубчатую поверхность, как бы свидетельствующую о коррозии кварца.

З о л о т о встречено в виде мельчайших выделений неправильной формы,

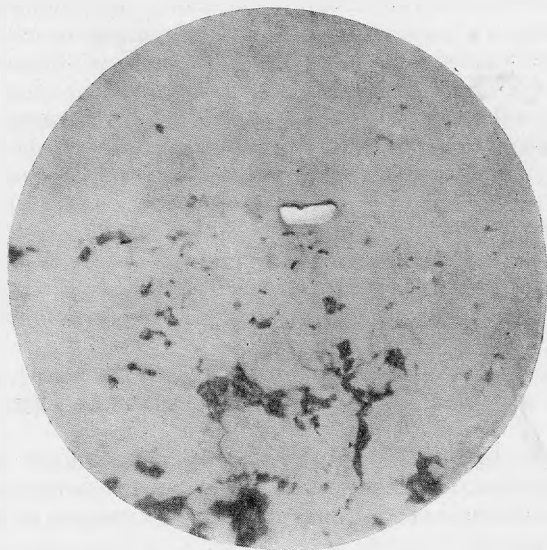


Рис. 6. Патронит (белое) в виде вытянутых табличек. Апплиф, $\times 86$

размером не более 0,002 мм (под микроскопом), приуроченных к кварцевым тонким прожилкам, секущим кварц первой генерации. Иногда золото наблюдается в виде самостоятельных тонких прожилков без кварца.

Золото, встреченное в шлихе, имеет форму комковатую или пластинчатую с извилистыми очертаниями. Поверхность зерен тонкошероховатая. Иногда встречались отдельные самородочки золота размером до 3 мм в поперечнике.

К в а р ц является главным жильным минералом и имеет полосчатое строение, параллельно залёбандам жилы.

Устанавливаются две генерации кварца. Первая представлена стекловатым, крупнозернистым кварцем с отчетливыми следами катаклаза и волнистым мозаичным погасанием. Размер зерен колеблется от 0,01 до 0,8 см. С кварцем этой генерации связан пирит первой генерации.

Кварц второй генерации представлен мелкозернистой разновидью серовато-белого цвета, реже зеленоватого. Он сетчат и замещает кварц первой генерации, выполняя трещины и пустоты в нем. Кварц второй генерации не деформирован — шестоватый, идиоморфный. Размер зерен кварца колеблется в пределах от 0,002 до 0,5 см. Со второй генерацией кварца связано образование основной массы сульфидов в том числе и патронита.

В кварцевой жиле наблюдается значительное количество серпичитовой и серия параллельных, ветвящихся прожилков карбоната.

О ИСТОЧНИКЕ ВАНАДИЯ В ЗОНЕ ОКИСЛЕНИЯ

Образование ванадинита в рудных месторождениях, и в частности в полиметаллических, большинством исследователей объясняется выщелачиванием ванадия из вмещающих пород и переотложением его нисходящими водами.

Однако в ряде случаев материалы, на которых строятся эти предположения, недостаточно полны и не освещают всех сторон данного вопроса. Некоторые исследователи, располагая значительными и полноценными материалами наблюдений, предлагают лишь однозначные решения, исключая какие-либо другие. Так, например, Ф. Я. Аносов и Ф. В. Чухров (1948) подвергли химическому анализу вмещающие породы ряда сульфидных месторождений в Центральном Казахстане. Ими установлено, например, содержание ванадия в карбонатных породах от следов до 0,009% при среднем содержании 0,0034%.

Несмотря на явно отрицательные результаты, авторы все же считают источником ванадия только осадочные породы.

Приведем их выводы: «Не исключена возможность выноса ванадия из карбонатных пород, хотя их подавляющая часть, как это видно из приведенных данных, не содержит повышенных количеств ванадия. Однако при длительной циркуляции водных растворов, даже тех незначительных количеств ванадия, которые содержится в известняках, может быть вполне достаточно для образования ванадатов, общее количество которых в зоне окисления описанных выше месторождений является небольшим» (Аносов и Чухров, 1948).

Приведенные авторами доводы являются, как нам кажется, мало обоснованными, так как трудно себе представить процесс вымывания ванадия из карбонатных пород при столь убогих содержаниях и перенос его к свинцовым месторождениям.

Еще менее доказательно решает этот вопрос Е. М. Янишевский (1934). При описании месторождения Кызыл-Эспе, не приводя данных по содержа-

нию ванадия в окружающих породах (известняках, песчаниках и сланцах), он принимает их за источник ванадия лишь только по аналогии с Сулейман-Сайским месторождением, генезис которого, кстати сказать, еще не совсем ясен.

С. С. Смирнов (1928, 1936) не отрицает ничтожного содержания ванадия в воде, однако все же он считает, что источником ванадия являются осадочные породы.

Меньшинство исследователей объясняют образование ванадинита в результате разложения сульфидов ванадия, присутствующих в месторождениях. Так, например, Шнейдерхён (Schneiderhöhn, 1937) полагал, что ванадий должен был присутствовать в сульфидной руде, причем в верхних горизонтах месторождений, которые в настоящее время уничтожены денудацией.

Ванадий перемещен нисходящими водами и под влиянием вторичных процессов перешел в ванадинит, но автор не приводит каких-либо существенных доказательств нахождения ванадия в первичных сульфидных рудах.

Ньюхауз (Newhouse, 1934) считает, что рассеянный в сульфидах ванадий может послужить материалом для образования ванадинитов в зоне окисления, но этот процесс имеет значение лишь для возникновения очень небольших количеств ванадиевых минералов и зависит от содержания ванадия в сульфидах.

Нам также кажется, что не всегда следует, как это делается некоторыми авторами, источник ванадия искать где-то за пределами исследуемого месторождения.

Если принять во внимание те содержания ванадия в сульфидных месторождениях, которые отмечаются в литературе (а они в большинстве случаев не ниже, чем в осадочных породах, за некоторым лишь исключением), то мы должны в противоположность сторонникам дальней миграции прийти к обратному выводу.

Так, например, Мориц (Moritz, 1933) обнаружил в галените из Тзумеба (Юго-Западная Африка) содержание ванадия от 0,005 до 0,01 % и минерал, напоминающий патронит.

Клейсен (Claussen, 1934) спектроскопически установил наличие ванадия в пиритах и галенитах многих месторождений.

В сульфидных рудах Северной Родезии и Катанги, по Шнейдерхёну (1937), содержится до 0,005 % ванадия.

Для разрешения вопроса о первоисточнике ванадия в описываемом случае автором были подвергнуты изучению многочисленные рудоносные тела района месторождения, содержащие галенит и залегающие в песчано-сланцевой толще. При этом установлено, что дайки изверженных пород, вскрытые в районе рудопроявления, и вмещающая осадочная песчано-сланцевая толща района содержит ванадий около 0,001 %.

Отсутствие значительной концентрации ванадия в породах, вмещающих жильное тело, заставило автора перенести основное внимание на изучение последнего.

Предварительное обнаружение спектральным и химическим анализами в зоне первичных рудных образований повышенного содержания ванадия значительно облегчило определение в аншлифах патронита.

В связи с установлением в жильном теле сульфида ванадия, генезис ванадийсодержащих минералов в зоне окисления представляется следующим образом: из первичного сульфида ванадия—патронита образовывалась ванадиевая кислота, соединения которой со свинцом из галенита выпадали из раствора в виде ванадинита и купродеклуазита.

Из анализа литературных источников устанавливается, что парагенетические ассоциации минералов для всех месторождений ванадинита более или менее одинаковы: первичной рудой во всех месторождениях являются сульфиды свинца, ванадинит же характерен для окисленной зоны, где он обычно сопровождается церусситом, пироморфитом, вульфенитом, деклаузитом, лимонитом и другими минералами.

Таким образом, галенит и другие сульфиды свинца являются осадителем ванадия, при отсутствии которых ванадий должен был бы быть вынесен за пределы рудного тела циркулирующими растворами.

По мнению автора, вопрос о первоисточнике ванадия в изученном жильном теле решается однозначно. Источником являются сульфидные руды, содержащие патронит. Однако в месторождениях ванадиевых руд, образовавшихся в других геологических условиях, не исключается возможность заимствования ванадия и из осадочных пород.

ЛИТЕРАТУРА

- Аносков Ф. Я. и Чухров Ф. В. О ванадатах в зоне окисления месторождений Центрального Казахстана. Зап. Всесоюзн. Минер. об-ва, 2-я сер., ч. LXXVII, вып. 1, 1948.
- Смирнов С. С. Нахождение ванадиевых руд в Сулейман-Сайском свинцовом месторождении. Всесоюзн. гос. комитет по запасам, № 1, 1928.
- Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. ОНТИ, 1936.
- Янишевский Е. М. Свинцово-ванадиевое месторождение Сулейман-Сай в Казахстане. Тр. Главн. Геол. упр., вып. 109, 1931.
- Янишевский Е. М. К вопросу о совместном нахождении молибдена и ванадия в окисленной зоне рудных месторождений (месторождение Кызыл-Эспе). Пробл. сов. геол., т. I, № 2, 1934.
- Claussen G. E. Spectroscopic analysis of certain galenas, sphalerites and pyrites. *Americ. Mineral.*, 19, № 5, 1934.
- Moritz H. Die sulphidischen Erze der Usemeh — Mine vom Ausgehenden bis zur XVI Sohle. (—460 m). *Neues Jahrb. Mineral.*, 67, Abt. A, 1933.
- Newhouse W. H. The source of vanadium, molybdenum, tungsten and chromium in oxidized lead deposits. *Americ. Mineral.*, 19, № 5, 1934.
- Schneiderhöhn H. Die Kupferlagerstätten von Nord-Rhodesia und Katanga. *Geolog. Rundschau*, 28, S. 282, 1937.