Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LII, вып. 2, 1967 г.

УДК 553. 43

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДИ

Н. В. Иванов

Геолого-промышленные типы месторождений меди широко освещены в печати, однако обычно рассматривают лишь важнейшие геологические факторы, определяющие эти типы и очень слабо (чаще лишь косвенно) затрагивающие экономическую эффективность эксплуатации медных месторождений.

Как известно, за основу классификации геолого-промышленных типов месторождений полезных ископаемых даже геологические факторы разными исследователями принимаются различные.

В настоящей статье при классификации медных месторождений на геолого-промышленные типы приняты геологические и горнотехнические факторы, а также качество руд по Е. О. Погребицкому [1965] с учетом данных В. И. Смирнова и В. И. Красникова: 1) важнейшие факторы, контролирующие формирование и локализацию месторождений; 2) размеры месторождений, определяемые количеством запасов; 3) степень и характер концентрации запасов; 4) форма, строение залежей и условия их залегания; 5) качество руд, определяемое минеральным и химическим составом, возможностью комплексного использования руд и их технологическими свойствами; 6) особенность вмещающих пород; 7) ведущие показатели, определяющие горнотехнические условия вскрытия и разработки месторождений, которые в свою очередь, в основном определяются совокупным влиянием второго, третьего, четвертого и шестого факторов. Выделенные по этим признакам шесть геолого-промышленных типов месторождений сведены в таблицу.

Рудные залежи месторождений, как правило, имеют сложное зональное строение, которое формировалось нередко в эндогенных, особенно экзогенных условиях. Эндогенная зональность характерна для месторождений медистых песчаников, колчеданных, иногда медно-никелевых и скарновых. Важнейшими рудными минералами медных месторождений являются: в зоне окисления — малахит, азурит, лимонит, хризоколла, куприт и самородная медь; в зоне цементации — халькозин, борнит и ковеллин; в зоне первичных руд — халькопирит, пирит, сфалерит, галенит, блеклые руды, чаще теннантит, магнетит, самородное золото, иногда самородное серебро и др. Наиболее распространенные нерудные минералы — кварц, кальцит, доломит, хлорит, барит и др. Наиболее важные акцессорные (реже второстепенные) минералы: золото, аргентит, теллуриды, энаргит, молибден, арсенопирит и др. Кроме того, на колчеданных (медных и медно-цинковых) месторождениях встречаются реньерит и германит, на медно-никелевых — кубанит, герсдорфит, бравоит,

полидимит, никелин и др., а на месторождениях медистых песчаников (особенно африканских) — гетерогенит, асболан, реньерит и германит [Гинзбург, 1959].

Для всех медных месторождений характерны промышленно ценные элементы: медь, золото, серебро, сера. Наиболее важны для многих медных месторождений элементы-спутники: селен, теллур, часто таллий, индий, кадмий, мышьяк, галлий, реже германий. Кроме того, промышленностью используются (иногда имеют большое значение): на месторождениях медистых песчаников — кобальт, свинец, цинк, редко молибден, очень редко — платина, ванадий, никель и даже уран; на прожилково-вкрапленных медно-молибденовых месторождениях — молибден, рений, в меньшей мере свинец и цинк; на колчеданных месторождениях — цинк, редко кобальт, еще реже молибден и рений; на магматических медно-никелевых месторождениях — никель, кобальт, платина и другие элементы группы платины; на скарновых месторождениях — кобальт, иногда железо (магнетитовое), молибден и рений.

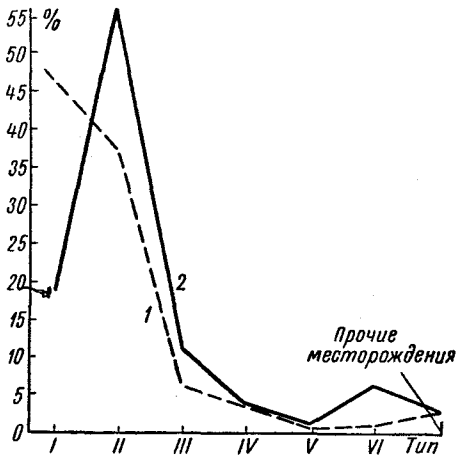


Рис. 1. Распределение мировых запасов (*1*) и мировой добычи меди (*2*) (с привлечением данных Г. Г. Гудалина и Ф. И. Ковалева [1951]).

Каждому континенту свойственны какие-то свои геолого-промышленные типы месторождений: Америке — прожилково-вкрапленные медно-молибденовые; Африке — медистых песчаников и т. д. (рис. 1).

Для каждого геолого-промышленного типа месторождений континента характерна своя эпоха формирования: для медистых песчаников Африки — докембрийская, для прожилково-вкрапленных медно-молибденовых руд Америки — кайнозойская и т. д., характерны также свои геологические предпосылки (см. таблицу). Поисковые признаки в отличие от геологических предпосылок для разных геолого-промышленных типов медных месторождений могут быть общими: например, выходы рудных тел на поверхность, первичные ореолы и особенно вторичные солевые ореолы рассеяния (лишь в Заполярье встречаются и механические ореолы); интенсивно измененные вмещающие породы, в частности, на медно-колчеданных и медно-молибденовых прожилково-вкрапленных месторождениях. К характерным косвенным поисковым признакам относят (исключая медно-молибденовые месторождения) геофизические аномалии (аномалии электрического поля, иногда силы тяжести для типа III, аномалии магнитного поля для типа IV.

Важнейшие методы поисков медных месторождений — геологическая съемка, геофизические и геохимические методы, различные геологоразведочные выработки, а при поисках скрытых, погребенных и скрытопогребенных месторождений [Беляевский и др., 1963] — бурение структурных и картировочных колонковых скважин с применением скважинной геофизики. Каждому типу месторождений соответствует определенный комплекс методов поисков. Ведущим способом разведки всех геолого-промышленных типов месторождений является бурение колонковых скважин, однако на прожилково-вкрапленных медно-молибденовых месторождениях в период детальной разведки рационально механическое ударно-

Тип месторождения	Факторы, контролирующие формирование и локализацию месторождений	Размеры месторождения по запасам меди	Степень и характер концентрации запасов
I. Медистые песчаники, телетермальные осадочного, осадочно-метаморфогенного и спорного генезиса: Замбия, Конго (Киншаса), СССР, ГДР (Мансфельд), Польша, Китай, Испания и др.	Строгое положение в стратиграфическом разрезе нормально-осадочных или осадочно-метаморфизованных пород. Взаимосвязь рудообразования и фациально-литологического состава пород	Крупные и уникальные — Замбия (54 млн. *т*), Конго (Киншаса) (36 млн. *т*)	Средняя и высокая; мощность рудоносных горизонтов до 80 *м*, рудных залежей часто от 2 до 35 *м*, число их до 15
II. Прожилково-вкрапленные медно-молибденовые, среднетемпературные гидротермальные умеренных глубин: США, Чили, Перу, Мексика, СССР, Китай и др.	Связь с интрузиями гранодиорит-порфиров и других интрузивов, к апикальной части которых приурочено оруденение. Доинтрузивные дорудные дизъюнктивные нарушения (дробление, трещиноватость). Интенсивное изменение интрузивных пород с превращением их во вторичные кварциты	Как правило, крупные — Чили, Чукикамата (5,1 млн. *т*), Эль-Сальвадор (6 млн. *т*), Перу, Куахоне (4,5 млн. *т*), Перу, Токепале (более 4 млн. *т*)	Очень высокая; мощность рудных тел часто первые сотни метров, в плане до 1100 × × 3000 *м*², иногда больше
III. Колчеданные, среднетемпературные гидротермальные от умеренных до малых глубин: СССР, Канада, США, Испания, Швеция, Норвегия, Португалия, Австралия, Япония, Куба, Албания, Югославия, Кипр, Китай и др.	Связь с эффузивами андезито-альбитофировой и спилито-кератофировой формаций. Тяготение к контакту пород с разными физико-химическими свойствами. Контроль рудных тел межплоскостными срывами. Приуроченность к подвижным поясам земной коры	Обычно средние, нередко мелкие — Канада, Флин-Флон (507 тыс. *т*), Норвегия, Сулительма и др. (350 тыс. *т*), мелкие (десятки тыс. *т*), изредка крупные — Испания, Рио-Тинто (2,1 млн. *т*), США, Юнайтед Верде (1,6 млн. *т*) и др.	Средняя, реже — высокая, иногда — низкая; мощность рудных тел от 0 до 275 *м*, чаще 2—8 *м*
IV. Магматические медно-никелевые, ликвационно-магматические: Канада (Садбери и др.); ЮАР (Бушвельд, Инсизва), Южная Родезия, Норвегия, СССР	Связь с хорошо дифференцированными, псевдостратифицированными основными и ультраосновными интрузиями. Закономерное расположение рудных тел в интрузиях (залежи висячие и донные, иногда — серии секущих параллельных жил). Приуроченность к древним щитам и платформам	Обычно средние, иногда крупные, нередко мелкие — Канада, Садбери (5 млн. *т*), Норвегия (десятки тыс. *т*)	Средняя, реже высокая; мощность рудных тел от 5 до 50 *м*, иногда от 5 до 50 *см* (жилы)

* При составлении таблицы использованы данные И. А. Быховера [1963], А. А. Глазковского
** В этой графе дано среднее содержание меди.

пы медных месторождений *

Форма залежей, залегание, строение	Качество руд, *особенности* минерального и химического составов **	Вмещающие породы	Горнотехнические условия; способ разработки
Пластовые, согласные с вмещающими породами, падение обычно пологое; строение нередко сложное	Обычно богатые, нередко Cu 3—4%. Обогащаются хорошо, извлечение высокое. Иногда характерен галенит, из нерудных — кварц и кальцит, доломит, часто кобальт, реже свинец и цинк, очень редко платина, никель, ванадий	Преимущественно песчаники, известковистые или доломитовые сланцы и доломиты, редко — углистые сланцы	Благоприятные; обычно подземный способ, реже открытый
Обычно штокверки, в плане изометрическая или удлиненная форма; строение сложное	Чаще бедные, реже средние. Cu от 0,5 до 1—1,5, редко до 2%. Сульфидные руды обогащаются хорошо, извлечение очень высокое; смешанные (сульфидные и окисленные) трудно обогатимы. Характерны молибденит, кварц, серицит; из элементов — молибден и рений	Кислые изверженные породы — окварцованные, серицитизированные, реже хлоритизированные	Очень благоприятные; за редким исключением открытый способ
Жилообразная, линзообразная, реже пластообразная, иногда штоко- и столбообразная; залегание, как правило, согласное с вмещающими породами; строение обычно сложное	Чаще средние, иногда богатые. Cu 1,5—2, иногда 3—5%. Обогащаются хорошо, извлечение Cu довольно высокое, Zn низкое. Характерны пирит, часто сфалерит, иногда гипогенный борнит, кварц, серицит, хлорит, нередко барит; из элементов — цинк, свинец, иногда кобальт	Кварц-серицитовые, кварц-хлоритовые и другие сланцы, слабо измененные эффузивно-пирокластические породы	Средние, иногда благоприятные; подземный способ; реже открытый
Пластообразная, плитообразная, жильная, штоки, гнезда, трубы	Обычно средние, иногда бедные. Cu 0,8—1,9%. Обогащаются хорошо, извлечение высокое. Характерны пирротин, пентландит, магнетит, пироксен, оливин, серпентин, хлорит; из элементов — никель, кобальт, платина и другие металлы группы платины	Серпентиниты, габбро, нориты, перидотиты и др.	Средние и благоприятные; обычно подземный способ; редко открытый

[1963], Г. Г. Ключанского [1961] и Инструкция по применению классификации запасов [1961].

Тип месторождения	Факторы, контролирующие формирование и локализацию месторождений	Размеры месторождения по запасам меди	Степень и характер концентрации запасов
V. Скарновые, контактово-метасоматические сульфидной фазы: Канада (Френч), США (Бизби), СССР, Северный и Северо-Восточный Китай	Приуроченность к контактам известняков с интрузиями (диориты, гранодиориты, кварцевые диориты, граниты и др.)	Часто мелкие (десятки тыс. *т*), иногда средние (первые сотни тыс. *т*)	Средняя и низкая; мощность рудных тел от 0 до 50 *м*, чаще до 10 *м*
VI. Жильные, среднетемпературные, гидротермальные: США (Бьютт), Китай (Дончуань), Югославия, СССР, Аргентина	Контроль системами закономерно ориентированных трещин и генетическая связь с гранитоидами разного состава	Чаще мелкие, иногда средние — Аргентина (20—30 тыс. *т*), крупное — США, Бьютт (7—8 млн. *т*, месторождение в значительной мере выработано)	Низкая, иногда и средняя; мощность малая, чаще доли и первые метры, иногда 15—20 *м*

* В этой графе дано среднее содержание меди.

канатное бурение, которое обеспечивает более достоверные результаты. Например, стоимость разведки 1 *т* меди на медных месторождениях Казахской ССР различна (рис. 2) и в основном определяется горнотехническими условиями, размерами месторождения и содержанием меди в руде.

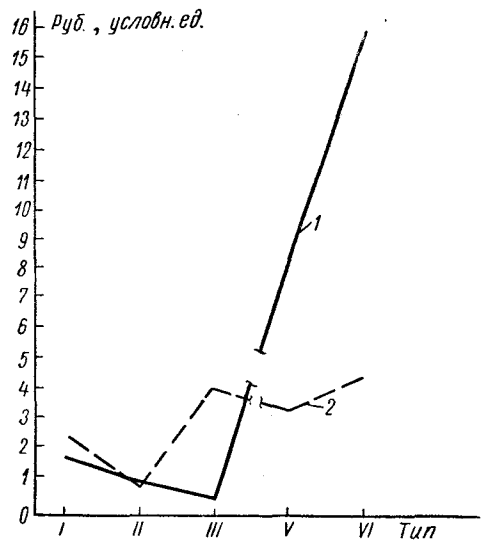


Рис. 2. Стоимость разведки 1 *т* меди (*1*) и содержание меди (*2*).

Самая дешевая разведка 1 *т* меди на медноколчеданных месторождениях. Там рудные залежи расположены близко к поверхности, размеры их большие, в частности, относительно велика вертикальная мощность, и сравнительно высоко содержание меди (см. рис. 2). Наиболее высокой должна быть стоимость разведки в СССР на жильных месторождениях. В основном разведка 1 *т* меди, как и стоимость добычи 1 *т* руды (рис. 2 и 3), определяются горнотехническими условиями разведки и разработки медных месторождений. Если иметь в виду разведку медных месторождений, то горнотехнические условия с какой-то степенью приближения можно выразить отношением суммарной мощности рудных залежей *т*, пересеченной скважинами, к суммарной мощности горных пород

Продолжение

Форма залежей, залегание, строение	Качество руд, особенности минерального и химического составов *	Вмещающие породы	Горнотехнические условия; способ разработки
Трубы, линзы, гнезда, залегание от пологого до крутого (определяется характером контакта); строение сложное	Часто средние и богатые. Cu от 2 до 12%. Обогащаются хорошо, извлечение высокое. Характерны молибденит (иногда), магнетит, гранат, диопсид, эпидот, иногда волластонит; из элементов — кобальт (иногда) и молибден, железо (магнетитовое)	Скарны разного состава	Средние, иногда благоприятные; обычно подземный способ
Типично жильная, залегание, как правило, крутое; строение относительно простое	Чаще средние и богатые. Cu 1—15%. Обогащаются хорошо, извлечение высокое. Характерны кварц, кальцит	Вулканогенные, осадочно-вулканогенные и интрузивные породы	Средние; подземный способ

M, пересекаемых скважинами при вскрытии рудных залежей. Это отношение целесообразно назвать коэффициентом эффективности пробуренных скважин $K_{э.с}$, так как он показывает долю пробуренных скважин, приходящихся на рудные залежи и горные породы.

Значение коэффициента $K_{э.с}$ за редким исключением будет меньше 1, и чем больше отклонение от единицы, тем выше стоимость разведки меди. Значение $K_{э.с}$ изменяется прямо пропорционально мощности рудного тела и обратно пропорционально углу его падения, а для горизонтально залегающих рудных тел скрытого и погребенного оруденения — обратно пропорционально и глубине залегания. Увеличение содержания меди в руде сопровождается уменьшением стоимости ее разведки.

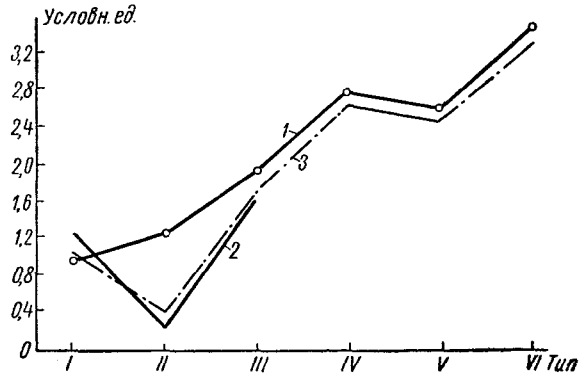


Рис. 3. Изменение стоимости добычи 1 m руды при подземной (*1*), открытой (*2*) и совместной подземной и открытой (*3*) разработках.

1, *3* — за единицу принята стоимость добычи 1 m руды месторождений типа *I*; *2* — стоимость подземной добычи 1 m руды в каждом типе месторождений.

Стоимость добычи 1 m руды изменяется аналогично и в зависимости от тех же причин, что и стоимость разведки 1 m меди (см. рис. 3). Минимальная стоимость добычи 1 m руды характерна для прожилково-вкрапленных медно-молибденовых месторождений. Она неуклонно

возрастает от медно-молибденовых (типа II) к жильным медным месторождениям (типа VI). Стоимость добычи 1 *т* руды на последних месторождениях превышает стоимость на первых в 8 раз.

Для месторождений медистых песчаников стоимость добычи более чем в 2 раза выше, чем для прожилково-вкрапленных. Открытые работы наиболее эффективны в этом отношении на месторождениях прожилково-вкрапленного типа, значительно меньше — на колчеданных (рис. 4), а на месторождениях медистых песчаников стоимость добычи 1 *т* руды иногда выше подземной (см. рис. 3). В то же время самая низкая стоимость добычи 1 *т* меди на месторождениях медистых песчаников (рис. 5).

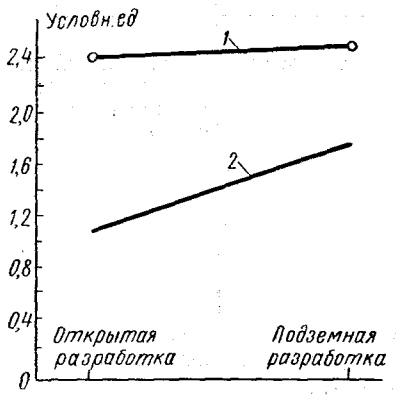


Рис. 4. Зависимость стоимости 1 *т* добытой руды от производительности рудника (на колчеданных месторождениях) при средней — *1* (500 тыс. *т* в год) и высокой — *2* (свыше 1 млн. *т* в год) производительности рудников.

Стоимость 1 *т* условного медного концентрата существенно возрастает от медистых песчаников к колчеданам, а содержание меди в руде и ее извлечение в концентрат заметно падает (см. рис. 5).

Минимальная стоимость 1 *т* черновой меди характерна для руд медистых песчаников, несколько выше — для руд прожилково-вкрапленных месторождений и максимальная — для колчеданных. Относительно дешевую медь получают из руд полиметаллических месторождений: она по стоимости стоит на третьем месте (рис. 6).

Несколько иными, по-видимому, в ближайшем будущем будут данные по медной промышленности Казахстана (с учетом ввода в эксплуатацию новых месторождений и увеличения роли комплексного использования руд) [Лексин, 1960; Лексин, Токарева, 1964; Цефт, 1960]. Однако

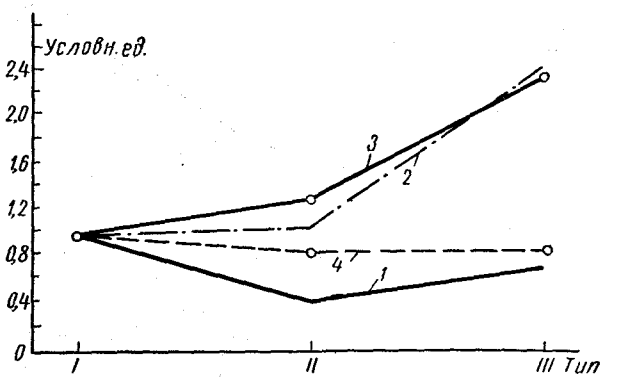


Рис. 5. Изменение содержания меди в руде (*1*), стоимость добычи 1 *т* меди (*2*) и 1 *т* условного медного концентрата (*3*), извлечение меди в концентрат (*4*).

соотношение стоимостей по геолого-промышленным типам месторождений сохранит свой характер, но при менее резком их различии (рис. 7). Еще менее будут различаться стоимости обогащения 1 *т* руды при более высокой стоимости на колчеданных месторождениях и низкой — на медистых песчаниках (см. рис. 7).

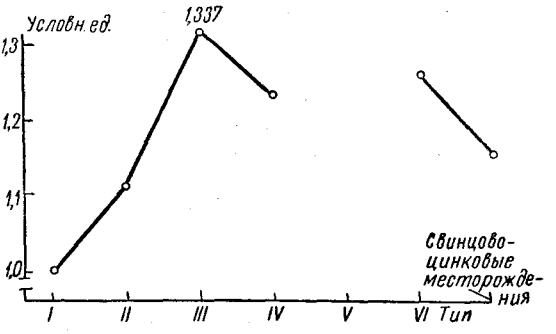


Рис. 6. Изменение стоимости 1 *т* черновой меди.



Рис. 7. Стоимость 1 *т* добычи руды (*1*), ее обогащения (*2*), металлургического передела в расчете на 1 *т* руды (*3*) и суммарные расходы на 1 *т*, включая транспортировку руды и концентрата до металлургического завода (*4*).

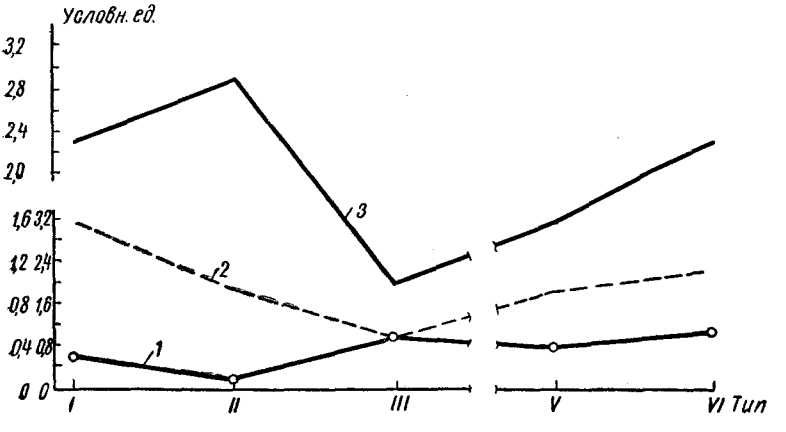


Рис. 8. Содержание меди в руде (*1*), стоимость 1 *т* концентрата (*2*) и 1 *т* черновой меди (*3*) (с учетом комплексного использования руд месторождений одного из геологических регионов).

При вводе в эксплуатацию новых медных месторождений и увеличении роли комплексного использования руд самая дешевая черновая медь ожидается из руд колчеданных месторождений, а наиболее дорогая — из руд прожилково-вкрапленного типа (рис. 8). Это обусловлено, кроме всего прочего, более высоким для некоторых типов месторождений содержанием меди на вновь передаваемых в эксплуатацию месторождениях. Так, например, среднее содержание меди на колчеданных месторождениях Казахстана, вводимых в эксплуатацию, в 2,2 раза выше, чем у ныне разрабатываемых.

Таким образом, геолого-промышленные типы месторождений различаются как по геологическим особенностям — размерам, содержанию меди и горно-техническим условиям, так и по технико-экономическим показателям, определяющим стоимость добычи руды, получения концентрата и черновой меди. Эти факторы являются ведущими в определении экономической эффективности разведки и эксплуатации типов медных месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

Беляевский Н. А. и др. Комплексы методов, применяемых при металлогеническом изучении закрытых территорий и при поисках оруденения, не выходящего на поверхность. В сб. Вопросы изучения и методы поисков скрытого оруденения. Госгеолтехиздат, 1963.

Быховер Н. А. Распределение мировых ресурсов минерального сырья по эпохам рудообразования. Госгеолтехиздат, 1963.

Гинзбург А. И. и др. Геология месторождений редких элементов, вып. 5. Госгеолтехиздат, 1959.

Глазковский А. А. Оценка месторождений при поисках и разведках, вып. 20. Госгеолтехиздат, 1963.

Гудалин Г. Г. и Ковалев Ф. И. Оценка месторождений при поисках и разведках, вып. 6. Госгеолтехиздат, 1951.

Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям молибденовых руд. Госгеолтехиздат, 1961.

Ключанский Г. Г. Особенности промышленной оценки запасов рассеянных элементов месторождений цветных металлов. Недра, 1961.

Лексин В. Н. Экономические вопросы подсчета и оценки запасов редких элементов — спутников в промышленных месторождениях цветных и редких металлов. Горнодобыв. пром. Казахстана, № 4, 1960.

Лексин В. Н., Токарева А. Г. Экономика извлечения редких металлов из продуктов переработки полиметаллических руд. Гос. ком. по черн. и цветн. металлам при Госплане СССР, 1964.

Погребицкий Е. О. Теоретические основы разведки месторождений полезных ископаемых. Изд-во ЛГИ, 1965.

Цефт А. Л. Состояние и задачи научных исследований в области комплексного использования руд цветных металлов Казахстана. В сб. Юбилейные статьи, посвященные 40-летию Казахской ССР. Изд-во АН КазССР, 1960.