

# Современное представление о промышленной классификации колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая

<sup>1</sup>**МИЗЕРНАЯ Марина Александровна**, к.г.-м.н., ассоциированный профессор, mizernaya58@bk.ru,

<sup>1\*</sup>**ПЯТКОВА Анна Павловна**, старший преподаватель, PhD, korajiji@mail.ru,

<sup>1</sup>**АЙТҚАЗЫЕВ Темирлан Маратович**, докторант, taitkazyyev@gmail.com,

<sup>2</sup>**ПЯТКОВ Александр Владимирович**, главный геолог, alex\_geo\_87@mail.ru,

<sup>3</sup>**ПОЛОВКО Максим Павлович**, начальник службы по Восточному Казахстану Управления геологоразведочных работ, polovko\_m@mail.ru,

<sup>1</sup>НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева», ул. Д. Серикбаева, 19, Усть-Каменогорск, Казахстан,

<sup>2</sup>ТОО «Геос», ул. А.К. Протозанова, 83, Усть-Каменогорск, Казахстан,

<sup>3</sup>ТОО «Казцинк», ул. М. Горького, 57, Усть-Каменогорск, Казахстан,

\*автор-корреспондент.

**Аннотация.** Существует множество классификаций полиметаллических месторождений. Многие исследователи, основываясь на генетической связи месторождений, относят месторождения Рудного Алтая к VMS типа Куроко. Другие же авторы классифицируют рудноалтайские полиметаллические месторождения, полагаясь на геодинамические обстановки и режимы их формирования. Такое многообразие классификаций затрудняет понимание и использование этих классификаций для различного рода исследований, а также появляются вопросы при сравнении с зарубежными аналогами. Ввиду чего авторами настоящей статьи предлагается к рассмотрению современная унифицированная классификация месторождений Рудного Алтая по J.W. Lydon (1988), основанная на разделении полиметаллических месторождений VMS по объемному соотношению Zn/(Zn+Pb) на 2 основных промышленно-генетических типах (Zn-Pb-Cu и Cu-Zn). Первый тип (Zn-Pb-Cu) имеет массовое соотношение Zn/(Zn+Pb) от 0,70 до 0,80; второй тип (Cu-Zn) – более 0,95. Практически все месторождения Рудного Алтая можно отнести к группе Zn-Pb-Cu, как имеющие массовые отношения Zn/(Zn+Pb) от 0,64 до 0,86 и локализующиеся в средних и докислых известково-щелочных вулканических породах преимущественно фанерозойского возраста.

**Ключевые слова:** колчеданно-полиметаллические месторождения, VMS, классификация, промышленный тип, генезис, рудное тело, формирование, Рудный Алтай.

## Введение

Колчеданно-полиметаллические месторождения, или VMS, представляют собой особый тип рудных залежей, обладающих высоким содержанием основных полезных компонентов, таких как медь, цинк, свинец, и элементов-спутников – золота и серебра, а также других металлов.

Формируются такие месторождения в результате гидротермальной активности вблизи подводных вулканов. VMS месторождения имеют большое значение для горнодобывающей промышленности, так как содержат значительные запасы ценных металлов [1].

Большинство исследователей считают,

что рудноалтайские месторождения относятся к типу месторождений VMS, основываясь на генетической связи с девонским вулканизмом и формой рудных залежей, которая наблюдается на нескольких стратиграфических уровнях.

На протяжении многих лет изучения происхождения рудноалтайских месторождений, их генетическая принадлежность не вызывала сомнений. Чего нельзя сказать о промышленных классификациях, основанных на различных принципах, например, таких как параметры рудообразующих компонентов, особенности строения, вариации состава руд, состав главных жиль-

ных и рудных минералов и др., которые не всегда отражают истинное отношение того или иного колчеданно-полиметаллического месторождения к определенному промышленному типу. За всю историю исследования рудноалтайских месторождений было предложено множество таких классификаций: Горжевский Д.И (1970), Ганженко Г.Д. (1999), Щерба А.Н. (2000) и многие другие.

В современной литературе представлены классификации месторождений VMS, в основу которых положены: геотектонические обстановки формирования месторождений, литология подошвы сульфидных залежей, преимущественные металлы, формирующие сульфидные залежи и другие факторы.

### Материалы исследований

В основу изучения существующих классификаций колчеданно-полиметаллических месторождений положены труды отечественных и зарубежных исследователей.

Первые упоминания о промышленной классификации относятся еще к дореволюционному периоду: П.П. Пилипенко разработал классификацию полиметаллических месторождений на составе главных жильных и рудных минералов. По этому же принципу группировали полиметаллические месторождения В.К. Котульский, А.К. Болдырев и И.Ф. Григорьев. Позднее – И.Ф. Григорьев и С.М. Глебов.

Горжевский Д.И. (1959, 1970), Иванкин П.Ф., Иншина П.В., Кузевный В.С. (1961) объединили все полиметаллические месторождения и рудопроявления Рудного Алтая в следующие промышленные типы: (а) – собственно полиметаллические, (б) – переходные к колчеданно-полиметаллическим, (в) – колчеданно-полиметаллические и (г) – медно-колчеданные.

К современным исследованиям следует отнести работы Г.Н. Ганженко (1999, 2022), в которых на основе типизации месторождений принята классификация Г.Д. Горжевского (1970), а принцип классификации основывается на параметрах рудообразующих компонентов, разнообразном составе и геохимических типах руд. Всего выделено 8 типов: барит-полиметаллический, полиметаллический, колчеданно-полиметаллический, колчеданно-медно-цинковый, медно-колчеданный, свинцово-цинковый тип, цинковый тип и свинцовый тип.

В зарубежной литературе, например, *Sillitoe, R.H (1973)*, выделял: а) месторождения, образовавшиеся в спрединговых центрах и обычно имеющие высокие соотношения Cu/Zn; б) месторождения островных дуг или континентальной окраины, имеющие относительно повышенные концентрации Pb, Zn, Ag и Ba [1].

*Sawkins, F.J. (1976)* по геотектонической обстановке и литологии подошвы залежей выделил три основных типа отложений VMS: (а) Куроко-тип, встречающийся в фельзитах и известково-щелочных вулканических породах архейского и третичного возраста в местах конвергенции плит в океанах; (б) Кипрский тип, встречающийся в низкокальциевых базальтовых вулканогенных породах в верхних частях офиолитовых комплексов, в местах спрединга континентальных плит; (в) тип Беши, встречающийся в обломочных осадочных породах и мафических вулканитах в нестабильной тектонической обстановке [1].

*Klau, W. и Large, D.E (1980)* в основе классификации месторождений VMS также использовали литологию вмещающих пород. Они выделяют месторождения, связанные: с (а) фельзитовыми вулканическими породами в архейских зеленокаменных поясах; (б) постархейскими известково-щелочными и толеитовыми вулканическими образованиями; и (в) с основными вулканическими породами [1].

В работе *Franclin et al., (2005)* вулканогенные массивные сульфидные отложения (VMS) сгруппированы в пять литостратиграфических типов: (1) бимодальные – мафические отложения (2) мафические отложения, типичны для офиолитов с < 10 процентами осадочных пород; (3) пелито-мафические в пределах зрелых океанических дуг; (4) бимодальные фельзитовые (возникающие в зарождающихся субдукционных эпиконтинентальных дугах; 5) кремнеземно-фельзитовые образования. Месторождения в первых трех типах преимущественно Cu-Zn, тогда как последние два также содержат значительный Pb [1, 2].

### Результаты и обсуждение

Все вышеперечисленные классификации определяют обстановки осадконакопления, вмещающие породы и, возможно, источники рудного вещества. С точки зрения перспектив месторождений в отношении добычи металлов большинство авторов склоняются к мнению, что классификация месторождений VMS в соответствии с их основным химическим составом или рудными элементами является наиболее информативной. Этим параметрам удовлетворяет классификация *J.W. Lydon (1988)*, который предложил использовать в основе разделения месторождений на типы объемных соотношений Zn/(Zn+Pb). На основе этого соотношения очень четко выделяются две основные группы промышленных типов месторождений VMS: тип Zn-Pb-Cu (массовое соотношение Zn/(Zn+Pb) от 0,70 до 0,80) и тип Cu-Zn (более 0,95) [1, 2, 3].

Данная классификация позволила нам создать унифицированную систематику промышленно-генетических типов месторождений Рудного Алтая. Были собраны данные по средним содержаниям металлов и тоннажу основных месторождений и рудных районов Рудного Алтая (Лениногорского, Зыряновского и Прииртышского) и произведены расчеты массовых соотношений Zn/(Zn+Pb) и Au/Ag (см. таблицу).

Из таблицы видно, что практически все месторождения Рудного Алтая можно отнести к группе Zn Pb-Cu, которая также соответствует по *Hutchinson, R. W. (1973)* к типу (б) – месторождения в средних и до кислых

известково-щелочных вулканических породах преимущественно фанерозойского возраста и типу (а) по *Solomon, M., (1976)*.

Для сравнения полученных результатов с мировыми объектами в качестве репрезентативной выборки класса VMS использовались данные изучения месторождений основных наиболее изученных металлогенических провинций мира: пояса Абитити, район Батерст-Ньюкасл, Нью-Брансуик (Канада); норвежские каледониды; пояс Зеленых туфов (Япония); и Рудно-Алтайский пояс (Казахстан) (см. таблицу) [1, 2, 3]. На основании данных таблицы построена треугольная диаграмма Zn-Pb-Cu (рисунок 1).

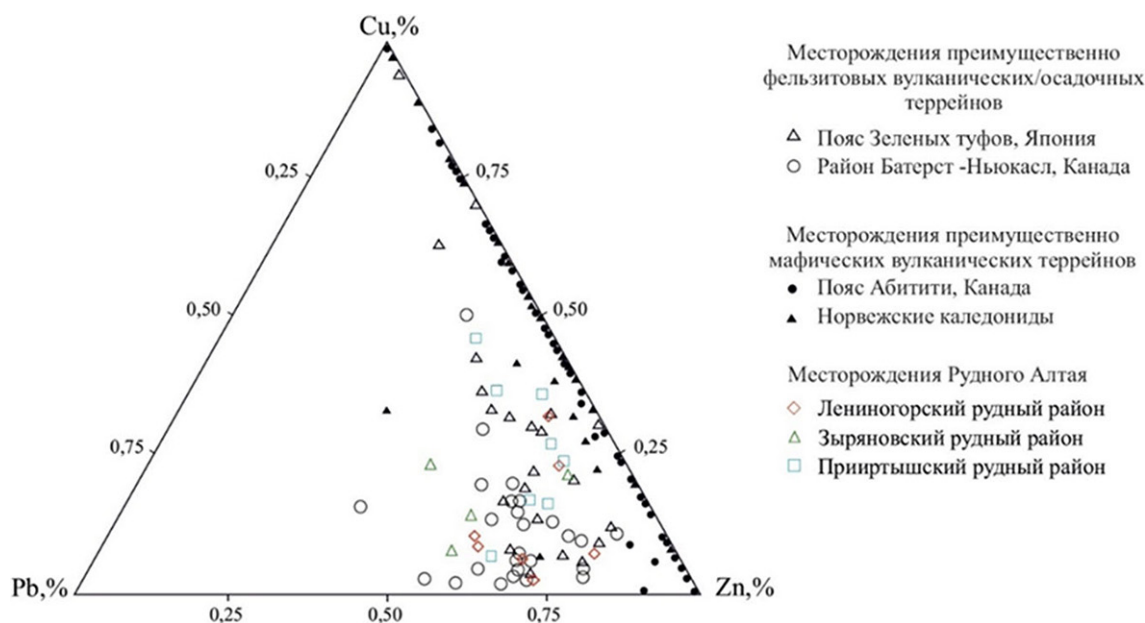


Рисунок 1 – Cu, Pb, Zn диаграмма состава VMS месторождений отдельных территорий (по J.W. Lydon (1988) с дополнениями данных авторов по Рудному Алтаю и Уралу)

**Среднее содержание и тоннаж VMS месторождений отдельных территорий по J.W. Lydon (1988) с дополнениями авторов по месторождениям Рудного Алтая и Урала**

Участок	Тип	Кол-во мест-й	Среднее содержание и тоннаж								
			Cu, %	Zn, %	Pb, %	Zn/(Zn+Pb)	(*)	Ag, г/т	Au, г/т	Au/Ag	млн т
Абитити, Канада	Cu-Zn	52	1,47	3,43	0,07	0,98	47	31,9	0,8	0,03	9,2
Норвежские каледониды	Cu-Zn	38	1,41	1,53	0,05	0,96	0	н/а	н/а	-	3,5
Батерст, Канада	Zn-Pb-Cu	29	0,56	5,43	2,17	0,71	28	62,0	0,5	0,01	8,7
Пояс зеленых туфов, Япония	Zn-Pb-Cu	25	1,63	3,86	0,92	0,81	7 (ср)	95,1	0,9	0,01	5,8
РА, Лениногорский рудный район	Zn-Pb-Cu	7	0,85	3,85	1,07	0,78	6	90,9	1,41	0,02	463,2
РА, Зыряновский рудный район	Zn-Pb-Cu	4	1,26	3,88	1,49	0,72	4	70,4	0,33	0,004	166,5
РА, Прииртышский рудный район	Zn-Pb-Cu	8	2,62	6,35	1,63	0,80	8	71,8	0,76	0,01	228,5

(\*) – количество месторождений, для которых известны средние содержания Au и Ag; (ср) – среднее содержание Au и Ag для Пояса зеленых туфов, Япония по 27 отдельным линзам из 7 разных месторождений.

На рисунке 1, представляющем собой треугольную диаграмму зависимости содержаний (%) Zn, Pb и Cu четко видно, что колчеданно-полиметаллические месторождения Рудного Алтая находятся в одном поле с месторождениями Канады и Японии, располагающиеся преимущественно в фельзитовых вулканических породах и осадочных комплексах [4, 5].

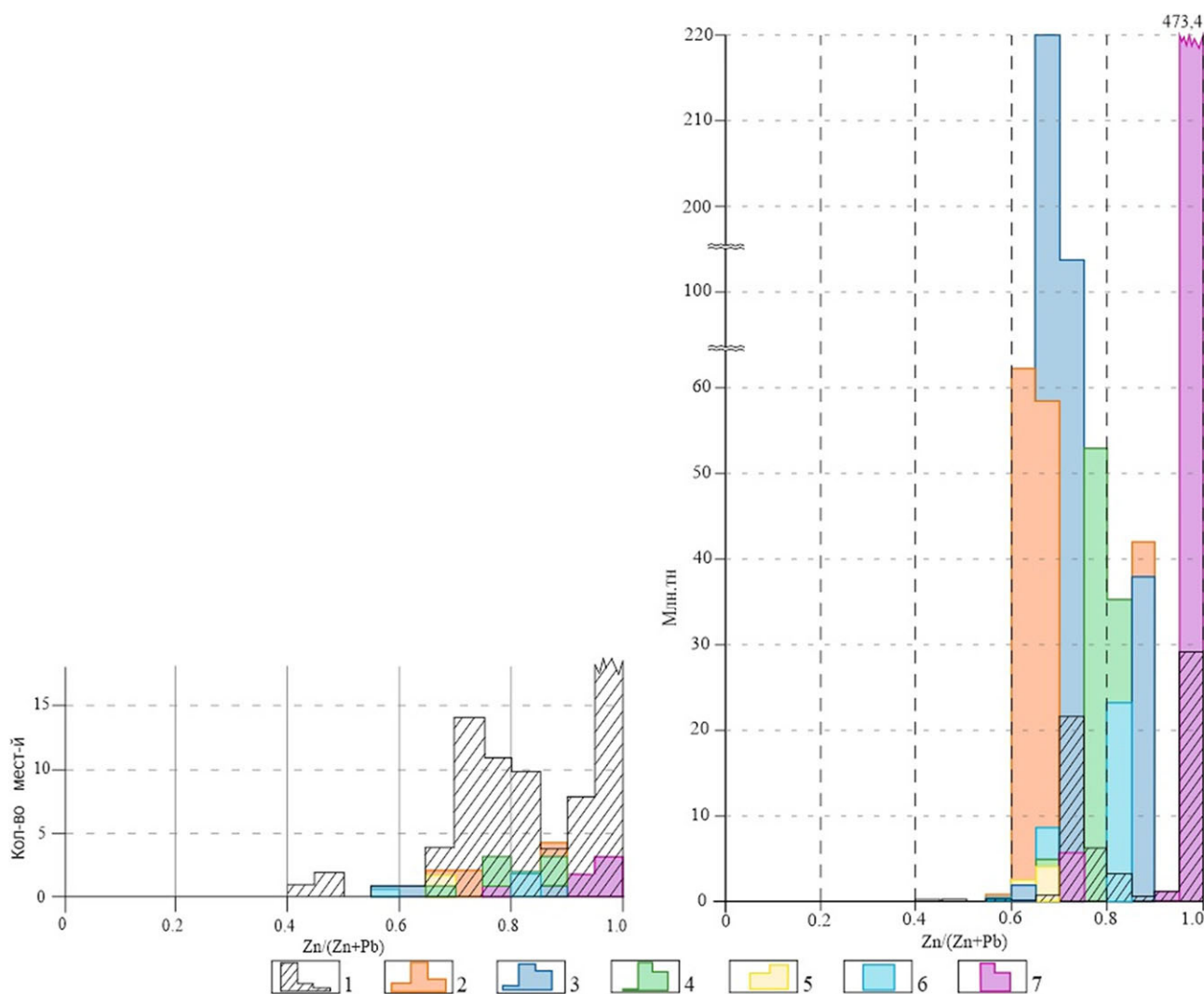
Гистограммы распределения количества и тоннажа месторождений (рисунок 2а) показывают частоту распределения соотношений Zn/(Zn + Pb) отдельных месторождений. На гистограмме (рисунок 2б) показано количество содержащегося в месторождениях

металла в зависимости от типа месторождений по Zn/(Zn+Pb).

Диаграммы показывают, что большая часть руд содержится на месторождениях VMS, которые имеют массовое соотношение Zn/(Zn+Pb) либо от 0,70 до 0,80 (тип Zn-Pb-Cu), либо более 0,95 (тип Cu-Zn). Данное разделение месторождений на две основные группы подтверждается высокой степенью корреляции с другими особенностями месторождений.

### Выводы

С точки зрения генезиса, выявляется сильная взаимосвязь между типом место-



1 – Пояс Зеленых туфов (Япония); район Батерст-Ньюкасл, пояс Абитити (Канада); Норвежские каледониды; 2 – Зырянский рудный район (РА); 3 – Лениногорский рудный район (РА); 4 – Прииртышский рудный район(РА); 5 – Рубцовский рудный район (РА); 6 – Змеиногорский рудный район (РА); 7 – Месторождения Урала

Рисунок 2 – Гистограммы зависимости количества месторождений (а) и их тоннажа (б) от типа месторождения по Zn/(Zn+Pb) (по J.W. Lydon (1988) с дополнениями авторов по месторождениям Рудного Алтая и Урала)

рождения и доминирующей литологией. Залежи типа Cu-Zn встречаются там, где в подошве рудных тел залегают основные вулканогенные породы или их прямые осадочные производные. Залежи типа Zn-Pb-Cu встречаются там, где подошва рудных тел состоит из преимущественно фельзитовых вулканогенных пород или слюдястых/глинистых осадочных пород. Очевидно, что следствием этого утверждения является и то, что месторождения одного и того же рудного района относятся к одному и тому же типу [6, 7].

По результатам исследований можно отметить, что на месторождениях Рудного Алтая установлена тесная связь с фельзитами и осадочными комплексами пород [8].

Следовательно, рассматриваемая классификация по J.W. Lydon (1988), вносит ясность в промышленную систематику месторождений Рудного Алтая, при этом учитывать ранг (по тоннажу) месторождений для создания унифицированной классификации промышленно-генетических типов месторождений Рудного Алтая, выделяя среди них два преобладающих: первый тип – Zn-Pb-Cu и второй тип – Cu-Zn [8].

*Исследования дополнительно финансировались Комитетом геологии Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан (грант № BR10264558).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ore deposit models. – Geoscience Canada. Reprinted. Geological association of Canada. 1988. Pp. 145-181.
2. Mizernaya M., Pyatkova A., Dyachkov B. Geological and structural conditions of formation and ore content of Devonian volcanogenic complexes of Rudny Altay. – The XVI International Forum-contest of students and young scientists «Topical Issues of Rational Use of Natural Resources». – Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia, 2020.
3. Мизерная М.А., Пяткова А.П., Мирошникова А.П., Пятков А.В., Половко М.П. Закономерности формирования колчеданно-полиметаллических месторождений на примере месторождения Малеевское // Вестник ВКГТУ им. Д. Серикбаева. 2018. № 4 (82), декабрь. – С. 32-38.
4. Chekalin V.M., Dyachkov B.A. Rudny Altai base-metal belt: localization of massive sulfide mineralization // Geology of Ore Deposits. – 2013, Vol. 55. No. 6. – Pp. 513-532.
5. Дьячков Б.А., Ганженко Г.Д., Сапаргалиев Е.М. Геодинамические обстановки формирования рудоносных структур Большого Алтая. – Алматы: КазГео, 2016. – С. 9-21.
6. Париллов Ю.С. Генезис основных типов месторождений цветных металлов Казахстана (по результатам изучения флюидных включений). – Алматы, 2012. – 266 с.
7. Некоторые рудные провинции Казахстана (Доклады на семинаре-совещании). – Алматы, 2013. – 150 с.
8. Дьячков Б.А. Рудноалтайский полиметаллический пояс: закономерности распределения колчеданного оруденения // Геология рудных месторождений. Том 55. 2013. № 6. С. 513-532.

### **Кенді Алтайдың колчедан-полиметалл кен орындарының өнеркәсіптік жіктелуі туралы заманауи түсінік**

<sup>1</sup>**МИЗЕРНАЯ Марина Александровна**, г.-м.ф.к., қауымдастырылған профессор, mizernaya58@bk.ru,

<sup>1\*</sup>**ПЯТКОВА Анна Павловна**, аға оқытушы, PhD, korajiji@mail.ru,

<sup>1</sup>**АЙТҚАЗЫЕВ Темірлан Маратұлы**, докторант, taitkazyev@gmail.com,

<sup>2</sup>**ПЯТКОВ Александр Владимирович**, бас геолог, alex\_geo\_87@mail.ru,

<sup>3</sup>**ПОЛОВКО Максим Павлович**, геологиялық барлау жұмыстары басқармасының Шығыс Қазақстан бойынша қызмет бастығы, polovko\_m@mail.ru,

<sup>1</sup>«Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КеАҚ, Д. Серікбаев көшесі, 19, Өскемен, Қазақстан,

<sup>2</sup>«Геос» ЖШС, А.К. Протозанов көшесі, 83, Өскемен, Қазақстан,

<sup>3</sup>«Қазцинк» ЖШС, М. Горький көшесі, 57, Өскемен, Қазақстан,

\*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** Полиметалл кен орындарының көптеген жіктелімдері бар. Көптеген зерттеушілер кен орындарының генетикалық байланысына сүйене отырып, Кенді Алтайдың орындарын Куроко типті VMS-ке жатқызады. Басқа авторлар геодинамикалық жағдайларға және олардың қалыптасу режимдеріне сүйене отырып, Кенді Алтайдың полиметалл кен орындарын жіктейді. Классификациялардың бұл әртүрлілігі осы классификацияларды әртүрлі зерттеулер үшін түсінуді және пайдалануды қиындатады, сонымен қатар шетелдік аналогтармен салыстырғанда сұрақтар туындайды. Осыған орай, осы мақаланың авторлары VMS полиметалл кен орындарын  $Zn/(Zn+Pb)$  көлемдік арақатынасы бойынша 2 негізгі өнеркәсіптік-генетикалық типке (Zn-Pb-Cu және Cu-Zn) бөлуге негізделген J.W. Lydon (1988) бойынша рудалық Алтай кен орындарының қазіргі заманғы біріздендірілген жіктелімін қарауға ұсынады. Бірінші типте (Zn-Pb-Cu) –  $Zn/(Zn+Pb)$  массалық қатынасы 0,70-тен 0,80-ге дейін; екінші түрі (Cu-Zn) – 0,95-тен жоғары. Кенді Алтайдың барлық дерлік кен орындарын Zn-Pb-Cu тобына жатқызуға болады, олар  $Zn/(Zn+Pb)$  0,64-тен 0,86-ға дейінгі массалық қатынастарға ие және негізінен фанерозой жасындағы орта және қышқыл әк-сілтілі жанартау жыныстарында локализацияланған.

**Кілт сөздер:** колчедан-полиметалл кен орындары, VMS, жіктелуі, өнеркәсіптік түрі, генезисі, кен денесі, қалыптасуы, Кенді Алтай.

### **Modern Understanding of the Industrial Classification of Pyrite-polymetallic Deposits of the Rudny Altai**

<sup>1</sup>**MIZERNAYA Marina**, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, mizernaya58@bk.ru,

<sup>1</sup>\***PYATKOVA Anna**, Senior Lecturer, PhD, korajiji@mail.ru,

<sup>1</sup>**ТАЙКАЗЫЕВ Темірлан**, Doctoral Student, taitkazyyev@gmail.com,

<sup>2</sup>**PYATKOV Alexander**, Chief Geologist, alex\_geo\_87@mail.ru,

<sup>3</sup>**POLOVKO Maxim**, Head of the East Kazakhstan Service of the Exploration Department, polovko\_m@mail.ru,

<sup>1</sup>NCJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University», D. Serikbayev Street, 19, Oskemen, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Geos LLP, A.K. Protozanov Street, 83, Oskemen, Kazakhstan,

<sup>3</sup>Kazzinc LLP, M. Gorky Street, 57, Oskemen, Kazakhstan,

\*corresponding author.

**Abstract.** There are many classifications of polymetallic deposits. Many researchers, based on the genetic relationship of the deposits, attribute the deposits of the Rudny Altai to the VMS Kuroko type. Other authors classify polymetallic deposits of the Rudny Altai, relying on geodynamic conditions and modes of their formation. Such a variety of classifications makes it difficult to understand and use these classifications for various kinds of research, and questions also arise when comparing with foreign analogues. Therefore, the authors of this article propose to consider the modern unified classification of deposits of the Ore Altai according to J.W. Lydon (1988), based on the division of polymetallic deposits of VMS by volume ratio  $Zn/(Zn+Pb)$  into 2 main industrial genetic types (Zn-Pb-Cu and Cu-Zn). The first type (Zn-Pb-Cu) has a mass ratio of  $Zn/(Zn+Pb)$  from 0.70 to 0.80; the second type (Cu-Zn) is more than 0.95. Practically all deposits of the Ore Altai can be attributed to the Zn Pb-Cu group, as having mass ratios of  $Zn/(Zn+Pb)$  from 0.64 to 0.86 and localized in medium to acidic calcareous-alkaline volcanic rocks mainly of Phanerozoic age.

**Keywords:** pyrite-polymetallic deposits, VMS, classification, industrial type, genesis, ore body, formation, Rudny Altai.

## REFERENCES

1. Ore deposit models. – Geoscience Canada. Reprinted. Geological association of Canada. 1988. Pp. 145-181.
2. Mizernaya M., Pyatkova A., Dyachkov B. Geological and structural conditions of formation and ore content of Devonian volcanogenic complexes of Rudny Altay. – The XVI International Forum-contest of students and young scientists «Topical Issues of Rational Use of Natural Resources». – Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia, 2020.
3. Mizernaya M.A., Pyatkova A.P., Miroshnikova A.P., Pyatkov A.V., Polovko M.P. Zakonomernosti formirovaniya kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdenij na primere mestorozhdeniya Maleevskoe // Vestnik VKGTU im. D. Serikbaeva. 2018. No. 4 (82), dekabr'. – Pp. 32-38.
4. Chekalin V.M., Dyachkov B.A. Rudny Altai base-metal belt: localization of massive sulfide mineralization // Geology of Ore Deposits. – 2013, Vol. 55. No. 6. – Pp. 513-532.
5. D'yachkov B.A., Ganzhenko G.D., Sapargaliev E.M. Geodinamicheskie obstanovki formirovaniya rudonosnyh struktur Bol'shogo Altaya. – Almaty: KazGeo, 2016. – Pp. 9-21.
6. Parilov Yu.S. Genezis osnovnyh tipov mestorozhdenij cvetnyh metallov Kazahstana (po rezul'tatam izucheniya flyuidnyh vklyuchenij). – Almaty, 2012. – 266 p.
7. Nekotorye rudnye provincii Kazahstana (Doklady na seminar-soveshchani). – Almaty, 2013. – 150 p.
8. D'yachkov B.A. Rudnoaltajskij polimetallicheskiy poyas: zakonomernosti raspredeleniya kolchedannogo orudneniya // Geologiya rudnyh mestorozhdenij. Tom 55. 2013. No. 6. Pp. 513-532.