

УДК 622.34:622.038

С.М. Ткач, С.А. Батугин

КЛАССИФИКАЦИЯ РУДНЫХ И РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С КЛАСТЕРНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ ЗАПАСОВ *

Вводится понятие «кластер» как обособленные в пространстве рудные скопления разной природы. Предлагается классификация месторождений (участков) с кластерной организацией, основанная на трех классификационных признаках: доля забалансовых запасов; соотношение долей богатых, средних и бедных запасов; пространственное распределение содержаний. Рассмотрены особенности кластеров, их выявления и идентификации типа кластеризации месторождений.

Ключевые слова: рудные месторождения, кластерная организация, классификация, условия разработки.

S.M. Tkatch, S.A. Batugib THE CLASSIFICATION OF ORE AND PLACER CLUSTER DEPOSITS

The term "cluster" as the ore mass of different nature, separated in space, is given in the article. The classification of the deposits (parts) with cluster organization, based on three classification features: the part of non-explored reserves, the ration of rich, average and poor reserves, space distribution of content. The peculiarities of clusters, their discovering and identification of the type of clusterization of the deposit are presented.

Key words: cluster organization, classification, ore deposits, development conditions

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 06-05-96120)

1. Общие понятия и определения

Термин «кластер» появился в химии при изучении соединений, в которых могут образовываться сложные структуры, содержащие остов из атомов металла, связанных

друг с другом химической связью и похожих на гроздь. Отсюда и название «кластер» (анг. kluster- «гроздь»).

С развитием многомерного статистического анализа, таксономии, распознавания образов, классификации элементов выборки в многомерном пространстве появился кластер-анализ (термин кластерный анализ впервые ввел Tryon, 1939 г.) позволяющий разбивать исследуемую совокупность элементов (координаты которых заданы) на совокупность смысловых кластеров [1, 2]. При этом в этих работах используется широкое понятие кластера и таксона (или образа):

- кластер – скопление, пучок, группа элементов, характеризующихся каким-либо свойством;

- таксон – систематизированная группа элементов любой категории.

И в таком смысле эти термины, стали широко использоваться в разных областях знаний, в том числе науках о земле и, в частности, геологии [4, 5 и др.].

До этого в разных областях знания (астрономия, геология, медицина, биология, география и др.) при изу-

чении подобного рода образов, таксонов, скоплений разного рода объектов сложились разнообразные приемы, методы и терминология. Развитие математических методов, ЭВМ и информационных технологий открыло широкую дорогу к интеграции знаний и понятийного аппарата. Понятие кластера, в частности, послужило связывающим звеном в рассматриваемом в данной статье вопросе.

С 1990 г. по 2004 г., как показано Л.С. Марковым и М.А. Ягольницером, появилось более 20 разнообразных определений экономических кластеров [7, с. 184-185]. Мы воспользуемся определением «Кластер – объединение нескольких однородных элементов, которое может рассматриваться как самостоятельная единица, обладающая определенными свойствами» [8]. В рассматриваемых нами кластерах «однородными элементами» являются концентрационные зоны неоднородности содержания полезных компонентов в запасах рудных (россыпных) месторождений.

Концентрационная неоднородность распределения химических элементов в недрах давно рассматривается на многих уровнях: планетарном, региональном, рудных узлов и месторождений, рудных тел и отдельных малых обособленных их частей (линзы, гнезда, столбы, ленты, шпирсы, карманы и т.п.), минеральных агрегатов и отдельных минералов.

В горнодобывающей промышленности внимание к уровням неоднородностей, имеющим размеры доли, единицы и первые десятки метров, со временем менялось. Еще в первой половине прошлого столетия, когда возможности горной техники были весьма ограничены, объектами селективной выемки являлись технологически сплошные скопления полезных

ископаемых любых, даже весьма малых размеров. Каждое из них рассматривалось как самостоятельный объект разведки и отработки [9, 10]. В связи с постоянно растущими возможностями технологии разработки, обогащения и переработки полезных ископаемых с применением машин и аппаратов все большей единичной мощности группы пространственно сближенных скоплений полезных ископаемых (пласты, линзы, гнезда и т.п.) стали объединять в единых контурах промышленного оруденения, установленных по геолого-экономическим данным. В последние десятилетия, с развитием теории и практики управления качеством добычи руд, технологического опробования и картирования, комбинированных геотехнологий, возрос интерес к выявлению и оконтуриванию рудных скоплений как «положительных элементов неоднородности» (ПЭН) и расстояний между ними как «отрицательных элементов неоднородности» (ОЭН) (по определению В.И. Куторгина, 1992 г.).

Малые обособленные рудные скопления различны по форме, размерам, геологическим условиям образования и другим характеристикам. Они имеют множество названий, отражающих форму или размеры (пласт, линза, столб, гнездо, лента, карман и др.), а также могут выделяться в объеме геологического тела, в горизонтальной плоскости или разрезе. По аналогии с кластерами в других науках обособленные в пространстве рудные скопления разной природы мы в своих работах с 1993 г. стали называть кластерами [11-13]. Именно в эти годы возникли проблемы с переоценкой геопотенциала месторождений и особенно на Северо-Востоке страны, где кластерная организация

месторождений проявилась особенно отчетливо [12, 13].

2. Классификация

Классификация месторождений (участков) с кластерной организацией построена на трех классификационных признаках (табл. 1):

1) доли забалансовых запасов в долях балансовых, четыре градации : $<0,5$; $0,51-1,0$; $1,01-2,0$; $>2,0$);

2) соотношение долей богатых (Δ_1), средних (Δ_2) и бедных (Δ_3) руд (четыре варианта): 1) $\Delta_1 \geq 0,7$, $\Delta_2 + \Delta_3 \leq 0,3$; 2) $\Delta_2 \geq 0,7$, $\Delta_1 + \Delta_3 \leq 0,3$; 3) $\Delta_3 \geq 0,7$, $\Delta_1 + \Delta_2 \leq 0,2$;

4) $\Delta_1 \approx \Delta_2 \approx \Delta_3$ (табл. 2);

3) для каждого из 16 сочетаний этих двух классификационных признаков графически задаются возможные варианты пространственного размещения запасов богатых, средних, бедных и забалансовых руд (табл. 1).

Типология месторождений с кластерной организацией балансовых запасов определяется соотношением долей богатых (Δ_1), средних (Δ_2) и бедных (Δ_3) запасов руд; ($\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = 1$). Всего типов таких месторождений семь (как отмечено в примечаниях и на рис. 1 (табл. 2)).

Первый признак несет важнейшую информацию о структуре возможного геопотенциала месторождения. Второй признак существенно дополняет сведения о структуре качества балансовой части этого потенциала и определяет 4 характерных типа месторождений (табл. 1, табл. 2 и рис. 1). Эти два признака, каждый с четырьмя градациями, определяют $4 \times 4 = 16$ различных структурных вариантов распределения запасов на месторождении.

Для каждого из 16 сочетаний двух классификационных признаков необходимо выбрать возможные характерные варианты пространственного размещения всех запасов (балансовых и забалансовых). Для этого воспользуемся аналитической связью статистического и пространственного распределений содержания полезного компонента, которое позволяет ввести в рассмотрение некоторое «первообразное» пространственное распределение содержания $C = f_0(x)$ (рис. 2). Как показано в работе [10, с. 118-120], функция статистического распределения $F(C)$ является обратной функцией первообразного пространственного распределения $C = f_0(x)$ и плотность статистического распределения $p(C) = dF(C)/dC$ выражается через производную «первообразного» пространственного распределения по формуле

$$p(C) = \frac{dF(C)}{dC} = 1 / \frac{df_0(x)}{dx}. \quad (1)$$

Заданной плотности вероятности статистического распределения пространственной переменной соответствует бесконечное множество возможных ее пространственных распределений, но только одно из них связано аналитически по (1). Именно поэтому оно названо первообразным.

Ни плотность статистического распределения содержаний, ни соответствующее ей по (1) первообразное пространственное распределение не изменяются при всех последующих преобразованиях пространственных распределений запасов для иллюстрации характерных и прочих вариантов пространственного распределения компонента и запасов (табл. 1).

Это позволяет формально моделировать все возможные пространственные распределения содержаний

полезного компонента, соответствующие данному статистическому распределению. Естественно, для любого

Таблица 1
Классификационные признаки месторождений (участков) с кластерной организацией

Классификационный признак		Типы месторождений (участков)			
1.	Доля забалансовых запасов (в долях балансовых)	По значению 1-го признака			
		1	2	3	4
		<0,50	0,51-1,0	1,0-2,0	>2,0
2	Соотношение долей богатых (Δ_1), средних (Δ_2) и бедных (Δ_3) запасов ($\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = 1$)	4 варианта табл. 2	4 варианта табл.2	4 варианта табл. 2	4 варианта табл. 2
3.	Варианты пространственного распределения содержаний компонента и разнотипных запасов, показанные на рис. 3-4.	На рис. 3 – варианты 1, 2, 3. На рис. 4 – варианты последовательно 4-9. На рис. 5 – варианты 10, 11, 12. Всего 12 вариантов.			

Таблица 2
Исходные характерные типы месторождений

Тип, №№	Соотношения долей богатых (Δ_1), средних (Δ_2) и бедных (Δ_3) руд.
1	$\Delta_1 \geq 70\%$; $\Delta_2 + \Delta_3 \leq 30\%$; $\sum_{i=1}^3 \Delta_i = 1$
2	$\Delta_2 \geq 70\%$; $\Delta_1 + \Delta_3 \leq 30\%$; $\sum_{i=1}^3 \Delta_i = 1$
3	$\Delta_3 \geq 70\%$; $\Delta_1 + \Delta_2 \leq 30\%$; $\sum_{i=1}^3 \Delta_i = 1$
4	$\Delta_1 \approx \Delta_2 \approx \Delta_3$; $\sum_{i=1}^3 \Delta_i = 1$

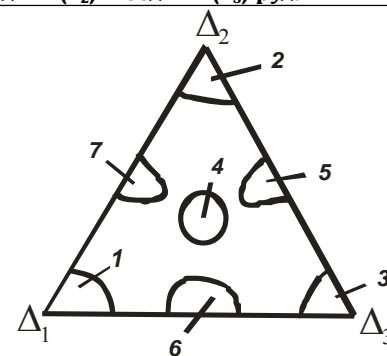


Рис. 1

Рис. 1 – Диаграмма размещения исходных типов месторождений, заданных вторым классификационным признаком. Варианты: 1. $\Delta_1 \geq 70\%$; 2. $\Delta_2 \geq 70\%$; 3. $\Delta_3 \geq 70\%$.

Примечания:

а) каждый тип схематично характеризуется положением на диаграмме (рис. 1);

б) о дополнительных типах (5-7). См. пояснения ниже по тексту.

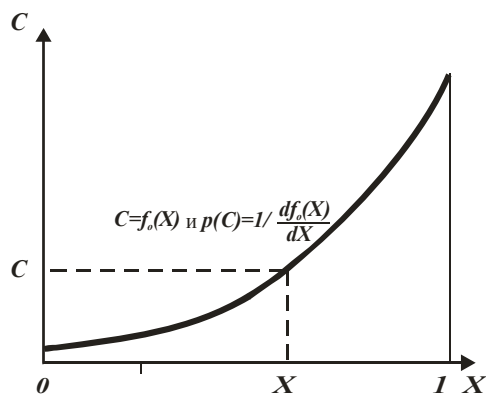


Рис. 2. Первообразное пространственное распределение содержаний $C=f_0(X)$

типа рудных месторождений для которого имеет место данное статистическое распределение содержаний, практически из бесконечного множества этих формально полученных пространственных распределений допустимыми (адекватными) будет только та часть, которая не противоречит природным закономерностям и особенностям природе рудообразования.

Среди бесконечного множества возможных пространственных распределений содержания минералов и элементов здесь отметим варианты трех принципиально отличающихся групп (рис. 3, 4, 5).

Варианты первой группы (рис. 3) характеризуются наибольшей сплошностью пространственного распределения запасов и монотонностью смены их качества. Во второй группе размещение запасов наблюдается разнообразная зональность их качества при сохранении сплошности и относительной компактности (рис. 4). Варианты третьей группы (рис. 5) представляют собой варианты дискретного пространственного распределения запасов руд с явно выраженной кластеризацией.

С использованием рис. 4, 5 можно проиллюстрировать другие разнооб-

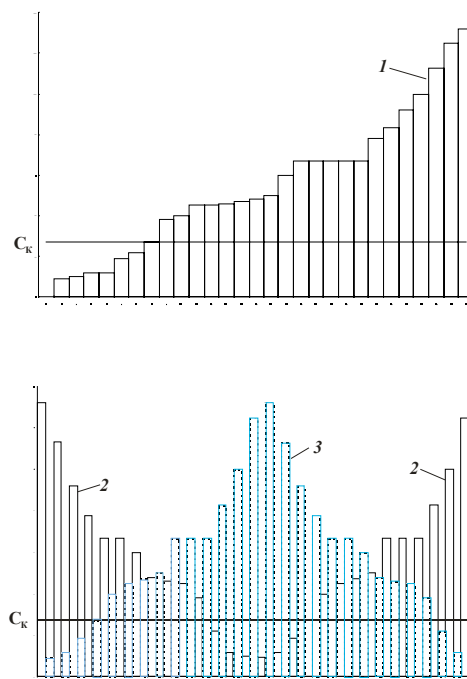


Рис. 3. Варианты пространственных распределений содержаний по результатам сплошного опробования: 1 – склон, 2 – впадина, 3 – холм, C_k – граница кондиционных ($C > C_k$) и некондиционных ($C \leq C_k$) руд

разные варианты пространственного распределения разнокачественных запасов существенно разного геопотенциала и требующих различных геотехнологических решений при их оценке и отработке.

Обратим внимание на рис. 6. В соответствии с обозначениями градаций запасов руды по качеству (содержанию полезного компонента) на рис. 6а заштрихованы четверти круга по часовой стрелке и обозначены забалансовые, бедные, средние и богатые руды.

Те же обозначения и приняты на рис. 5. На рис. 6, б заготовлен такой же круг без штриховок. Для иллюстрации других 9-ти вариантов пространственного размещения на рис. 5

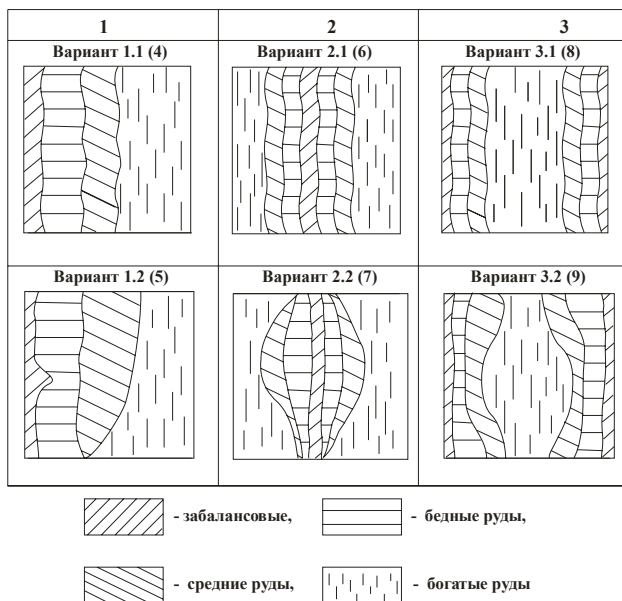


Рис. 4. Варианты возможного компактного пространственного размещения запасов руд (сортовые планы) для распределения типов: 1 – склон, 2 – впадина, 3 – холм (рис. 2)

и 4 достаточно на круг с прежней штриховкой наложить прозрачный шаблон (рис. 6, б) с надписями качества руд и развернуть его против часовой стрелки на 90°, чем меняем на рис. 1 и рис. 5 обозначения качества и получаем новые 9 вариантов (6 на рис. 4 и 3 на рис. 5) пространственного размещения запасов. Подобную процедуру можно провести еще два раза и получить еще 18 новых вариантов. Подключая к рассмотрению другие типы месторождений (табл. 2, типы 5, 6, 7) на определенном этапе анализа можно рассмотреть следующее множество вариантов.

3. Особенности рассматриваемых кластеров, их выявления и идентификации типа кластеризации месторождений

Первой важной особенностью элементов рассматриваемых кластеров является их масштабный уровень

– от долей до первых десятков метра. Условно можно назвать это мезоуровнем. Эта особенность проявляется в том, что неоднородности такого уровня практически не выявляются при разведке месторождений и далеко не полно выявляются при эксплуатационной разведке.

Вторая особенность рассматриваемых кластеров состоит в том, что рассматриваются одновременно положительные и отрицательные элементы неоднородностей (аномалии содержания полезных компонентов), образующие соответствующие природные положительные и отрицательные кластеры. При этом для одних месторождений характерны положи-

тельные кластеры на общем фоне бедных руд, для других характерно «пятнистое» (струйчатое и др.) размещение отрицательных кластеров на фоне хороших и богатых руд. Явно недостаточное выявление локальных неоднородностей на месторождениях приводит к заниженной оценке запасов в первом случае и завышенной – во втором. Это два (из многих) характерных вариантов кластерной организации месторождений рассматриваемого иерархического уровня.

Наличие природной иерархии уровней неоднородности полей концентрации минералов обуславливает третью особенность рассматриваемых кластеров и их элементов – каждый элемент кластера этого иерархического уровня (как и всех других уровней) сам является кластером следующего иерархического уровня. При этом, как уже отмечается во многих

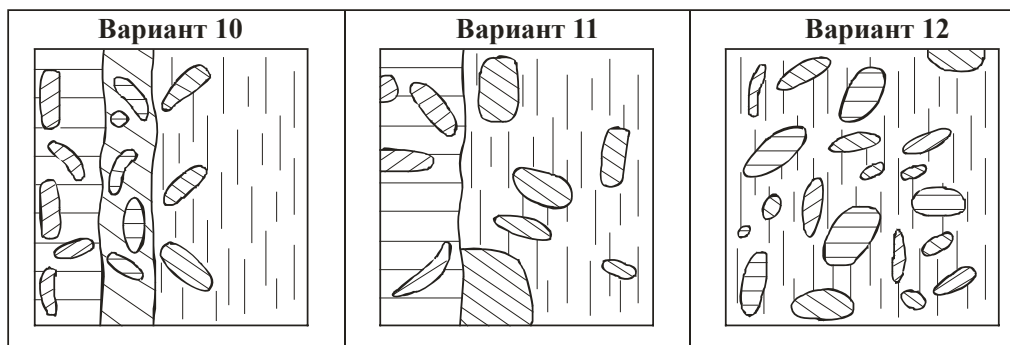


Рис. 5. Распространенные варианты возможного дискретного пространственного размещения тех же запасов руд, что и на рис. 2 и 3



Рис. 6. Принцип иллюстрации других распространенных вариантов дискретного пространственного размещения запасов (пояснения в тексте)

научных работах последнего десятилетия, в кластерной организации разного типа и уровня наблюдается самоподобие и фрактальность.

Четвертая особенность рассматриваемых кластеров заключается в том, что нас интересуют, как сказываются «положительные», так и отрицательные элементы неоднородности (ПЭН и ОЭН) на эффективности технологий добычи и переработки руд. Для этого рассматриваются совокупности геологических и технологических показателей на этих элементах неоднородности с оценкой их возможного отрицательного или положительного влияния на технико-экономические

показатели горного производства. Последнее ведет к пересмотру всех элементов ПЭН и ОЭН и выделению горно-экономических положительных и отрицательных кластеров (ГЭПК и ГЭОК). В предшествующей статье авторов в ГИАБ показано разнообразие сочетаний горно-геологических факторов, оказывающих положительное и отрицательное влияние на преобразование ПЭН и ОЭН в положительные и отрицательные горно-экономические кластеры.

Наконец, отметим, что рудные минералы, параметры ПЭН и ОЭН, важнейшие сочетания локальных изменений горно-геологических и тех-

нологических факторов несут информацию о параметрах формирования месторождений и закономерностях образования рассматриваемых кластеров, понимание которых необ-

ходимо как для развития методов их выявления, так и для повышения адекватности классификации и эффективности разработки участков месторождений с кластерной организацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А. Классификация многомерных наблюдений [Текст] / С.А. Айвазян, З.И. Бежаева, О.В. Староверов. – М.: Статистика, 1974.
2. Дюран Б. Кластерный анализ [Текст] / Б. Дюран, П. Одел: перевод с англ. – М.: Статистика, 1977. – 128 с.
3. Классификация и кластер [Текст] / под ред. Дж. Вен Райзина. – М.: Мир, 1980.
4. Добрецов Н.Л. Статистические методы в геологии [Текст] / Н.Л. Добрецов, В.В. Зуенко, М.Л. Шемякин. – Новосибирск: Наука, 1974. – 142 с.
5. Коган Р.И. Интервальные оценки в геологических исследованиях [Текст]: справочное пособие. – М.: Недра, 1986. – 160 с.
6. Справочник по математическим методам в геологии [Текст] / Д.А. Родионов, Р.И. Коган, В.А. Голубева и др. – М.: Недра, 1987. – 335 с.
7. Марков Л.С. Кластеры: формализация взаимосвязей в неформализованных производственных структурах [Текст] / Л.С. Марков, М.А. Ягольницер. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2006. – 194 с.
8. Режим доступа : <http://ru.wikipedia.org/wiki>.
9. Агрикола Георгий. О горном деле и металлургии.; под ред. В. В. Грицкова. – М. : Гиперборея, 2008. – 712 с.
10. Каждан А.Б. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых [Текст] / А.Б. Каждан, Л.П. Кобахидзе. – М.: Недра, 1985. – 205 с.
11. Батугин С.А. Закономерности развития горного дела [Текст] / С.А. Батугин, В.Л. Яковлев. – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. – 116 с.
12. Батугин С.А. Теоретические основы опробования и оценки запасов месторождений [Текст] / С.А. Батугин, Е.Д. Черный. – Новосибирск: Наука, 1998. – 344 с.
13. Ткач С.М. Методологические и геотехнологические аспекты повышения эффективности освоения рудных и россыпных месторождений Якутии [Текст] / С.М. Ткач; Отв. ред. С.А. Батугин. Рис. Акад. Наук. Сиб. отд-ние, Ин-т горного дела Севера СО РАН. - Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2006. - 284 с.

ГИАБ

Коротко об авторах

Ткач С.М. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории проблем рационального освоения минерально-сырьевых ресурсов, ученый секретарь ИГДС СО РАН, e-mail: tkach@igds.ysn.ru
Батугин С.А. – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории проблем рационального освоения минерально-сырьевых ресурсов ИГДС СО РАН, s.a.batugin@igds.ysn.ru

Статья представлена на семинаре лаборатории проблем рационального освоения минерально-сырьевых ресурсов ИГДС СО РАН.

