

УДК 537.622

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ

¹Портнов В.С., ²Юров В.М., ¹Турсунбаева А.К., ¹Тен Т.Л.,
¹Султанбекова Э.Б., ¹Лайысов Н.Г.

¹Карагандинский государственный технический университет, Караганда;

²Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова,
Караганда, e-mail: g.duganova@kstu.kz

Рассмотрены вопросы самопроизвольного образования минералов. Предложена модель, которая дает физические представления о процессе гомогенного зародышеобразования. В рамках предложенной модели получено, что радиус зародыша практически не зависит от вида атомов минерала. Эволюционные процессы, протекающие в минеральной среде, приводят к эволюции свойств минералов. Получено выражение, определяющее врожденное свойство минерала, которое определяется свойствами минеральной среды в момент его зарождения. Анализ эволюционных изменений минеральной системы с учетом присущей ей врожденной способности позволяет сформулировать следующие основные положения концепции эволюционности развития минералов: минерал обладает способностями саморазвития, самоорганизации и адаптации, соотносящимися с определенными свойствами минералогической среды; потеря минералом врожденной способности чревата его разрушением; предпочтительной формой развития минеральной системы является такая, при которой качество врожденной способности системы не меняется, но может меняться количество. В этом случае минеральная система развивается эволюционно.

Ключевые слова: минерал, эволюция, врожденная способность

SOME QUESTIONS OF GENETIC MINERALOGY

¹Portnov V.S., ²Yurov V.M., ¹Tursunbaeva A.K., ¹Ten T.L.,
¹Sultanbekova A.B., ¹Laysov N.G.

¹Karaganda state technical university, Karaganda;

²Karaganda state university of E.A. Buketov, Karaganda, e-mail: g.duganova@kstu.kz

Questions of spontaneous formation of minerals are considered. The model which gives physical representations about process of homogeneous formation of germs is offered. Within the limits of the offered model it is received, that the germ radius practically does not depend on a kind of atoms of a mineral. The evolutionary processes proceeding in the mineral environment, lead to evolution of properties of minerals. The expression defining congenital property of a mineral which is defined by properties of the mineral environment at the moment of its origin is received. The analysis of evolutionary changes of mineral system taking into account knack inherent in it allows to formulate following substantive provisions of the concept of evolution of development of minerals: the mineral possesses abilities of self-development, self-organising and the adaptation, conformed to certain properties of the mineralogical environment; loss by a knack mineral is fraught with its destruction; the preferable form of development of mineral system is such at which quality of knack of system does not vary, but the quantity can vary. In this case the mineral system carries out evolutionary development.

Keywords: mineral, evolution, knack

Генетическая минералогия является наиболее сложным объектом исследования в науках о Земле.

Генетическая минералогия выясняет условия, закономерности, процессы, приводящие к образованию минералов и их месторождений. Отсюда объектами исследования генетической минералогии являются как сами минералы, так и минеральные месторождения [1–5].

В настоящей работе мы затронем лишь некоторые вопросы генетической минералогии, представляющие, на наш взгляд, не только фундаментальный, но и практический интерес.

Модель гомогенного зарождения минералов

Здесь мы хотим продемонстрировать одну простую модель, которая дает некоторые физические представления о процессе гомогенного зародышеобразования. В од-

нородной среде с плотностью числа частиц n вероятность $W(r)$ того, что ближайший сосед находится на расстоянии r_k от выбранной частицы, нетрудно получить из классической статистической физики, и она равна:

$$W(r_k) = 4\pi n r_k^2 \exp\left[-4\pi n^2 r_k^3 / 3\right]. \quad (1)$$

Вероятность нахождения N частиц в зародыше радиусом r_k равна, очевидно,

$$W_N(r_k) = \prod_{i=1}^N W_i(r_k).$$

Вероятность (1) мы определим, с другой стороны, как отношение энергии борковского атома ($E = z^2 / 2a$, z – заряд, $a = \text{const}$) к полной энергии системы (идеальный газ) ($3/2 nkT_0$). Это сделано для того, чтобы качественно оценить, будет ли отличаться критический радиус зародыша r_k , напри-

мер, для различных металлов? Таким образом, мы имеем

$$\frac{z^2/2 a \cdot N}{3/2 nkT_0} = (4\pi n)^N r_k^N \exp\left[\frac{-4\pi N n^2 r_k^3}{3}\right]. \quad (2)$$

Логарифмируя обе части (2) и проводя несложные преобразования, получим:

$$-9 \ln 10 + \ln\left(\lambda \frac{Z^2}{T_0}\right) + \frac{3}{2} n \frac{T_0}{\Delta T} = \frac{4\pi}{3} N n^2 r_k^3. \quad (3)$$

Здесь первый член возникает при подстановке констант, $\alpha = 1$ – обеспечивает единую размерность величин, T_0 – температура плавления, $\Delta T = T_0 - T_1$ – переохлаждение. Из (3) видно, что первые два члена слева пренебрежимо малы по сравнению с остальными. Это сразу убирает зависи-

мость r_k от Z , т.е. от вида атомов кристаллизующегося вещества. Окончательно из (3) имеем:

$$N \cdot r_k^3 = \frac{1}{\pi n} \cdot \frac{T_0}{\Delta T}. \quad (4)$$

Если сделать оценку по средним величинам: $r_k \sim 1$ нм, $T_0 \sim 1000$ (для металлов), $\Delta T \sim 100$, $n = N_L$ – числу Лошмидта $\sim 3 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, то мы получим для числа частиц в зародыше $N \sim 100$. Ниже мы приводим данные, взятые из работы [6]. Видно, что наши оценки по формуле (4) качественно согласуются с экспериментальными данными. Действительно, радиус r_k зародыша практически не зависит от вида атомов металла, среднее число N частиц в зародыше имеет один порядок.

Таблица 1

Параметры кинетики зародышеобразования при кристаллизации переохлажденных металлов [6]

Металл	T_0 , К	ΔT , К	r_k , нм	N
Ртуть	234	90	0,8	100
Олово	505	180	0,8	130
Висмут	544	200	0,8	30
Свинец	600	170	1,1	180
Германий	1210	295	0,9	130
Серебро	1234	253	1,2	430

Из (4) следует, что в правой части стоят параметры, величину которых не изменишь в широких пределах, т.е.

$$N \cdot r_k^3 \approx \text{const}. \quad (5)$$

Соотношение (5) приближенно выполняется для многих веществ. Оно показывает, что на уровне наномасштабов зарождение минералов не зависит от сорта атома, участвующего в формировании зародыша минерала. Глубокие причины подобных корреляций пока еще не ясны.

Эволюция свойств минералов

Согласно идеям академика Н.П. Юшкина [7], взаимосвязи между минералом и минералогической средой подразделяются на:

а) энергетические, обеспечивающие обмен энергией при структурных преобразованиях индивида;

б) вещественные, связанные с поступлением вещества из среды в минеральный индивид, обеспечивающие его рост, или, наоборот, разрушение индивида и удаление вещества из минерала в среду;

в) информационные – передача особенностей структурной организации вещества и энергии от среды к минералу и обратно.

В работе [8] для магнитной восприимчивости χ минерала нами получено следующее выражение:

$$\chi = A \frac{N}{G^0}, \quad (6)$$

где A – некоторая постоянная для данных условий измерения; N – число магнитных диполей в минерале; G^0 – энергия Гиббса минеральной среды.

Из термодинамики известно, что

$$G^0 = U - TS + PV, \quad (7)$$

где U – внутренняя энергия минеральной среды, отвечающая за энергетическую связь с минералом; T – температура среды; S – энтропия, отвечающая за информационные взаимодействия; P – давление; V – объем.

Последний член в уравнении (7) отвечает за вещественную связь, поскольку согласно классической термодинамике:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT.$$

Для электропроводности, коэффициента теплопроводности и т.д. получаются соотношения, аналогичные (6).

Любой район нашей планеты отличается от такового для других районов, что ска-

зывается в различиях G^0 и, соответственно, в различных значениях физических свойств минералов. Эволюционные процессы, протекающие в минеральной среде, приводят к эволюции свойств минералов в соответствии с (6).

Природные свойства минералов определяют их технологические свойства [9]. Последние формируются в единой геолого-технологической системе на различных уровнях организации минерального вещества. Они определяют основные факторы извлекаемости (обогащаемости) полезного компонента. Изменение минеральной среды в отвалах, хвостохранилищах, скважинах, отработанных карьерах и рудниках приводит к изменению свойств минералов и возможному изменению экологической обстановки (особенно для урановых и ряда других рудников) в регионе.

Моделирование эволюции свойств минералов при изменении свойств минеральной среды представляет собой важную задачу современного экологического мониторинга.

«Врожденные» свойства минералов

Количественные изменения могут приводить к изменению одних качеств, в то время как другие могут оставаться неизменными. Качества претерпевают изменения не одновременно, причем одни чаще, другие реже, а третьи сохраняются на протяжении периода существования объекта. Последнее качество объекта определяется его врожденной способностью. Как отмечал Аристотель: «Каждое из них называется таким не потому, что кто-то находится в каком-то состоянии, а потому, что оно имеет врожденную способность или неспособность легко что-то делать или ничего не претерпевать» [10].

В работах [11, 12] в рамках неравновесной термодинамики была получена формула для функции Φ отклика произвольной системы на внешнее воздействие. Разлагая экспоненту в знаменателе Φ (см. [11, 12]) в ряд и пренебрегая малыми членами, в линейном приближении нетрудно получить, полагая $\Phi = \Xi$ – относительной величине физического свойства минерала (например, $\Phi = \chi/\chi_0$):

$$\Xi = \epsilon \ln W, \tag{8}$$

где ϵ – параметр модели; W – характеризует «ресурсы» физического свойства минерала.

В начальный момент образования минерала – $W = \epsilon$, так что

$$\Xi_v = \epsilon \ln \epsilon. \tag{9}$$

Полученное выражение и есть врожденное свойство минерала.

Если сопоставить выражения (6) и (9), то видно, что врожденное свойство минерала определяется свойствами минеральной среды в момент его зарождения (через G^0). Например, руды большинства месторождений золота и серебра Казахстана (около 65%) имеют значительную твердость, 70% их представлены кварцем, около 25% – полевым шпатом. Коэффициент крепости горной массы колеблется в пределах 13–17 по шкале Протодяконова. Ценный компонент – серебро и золото – представлен в виде электрума и имеет тонкую вкрапленность. Эти особенности минеральной среды обуславливают отличия в свойствах золотосодержащих минералов и высокие требования к работе цикла дробления руды.

В табл. 2 представлены данные по энергии Гиббса золотосодержащих минералов [13]. Здесь, не делая большой ошибки, принято $G^0 \approx |-\Delta G^0|$.

Таблица 2

Энергия Гиббса основных золотосодержащих минералов

Минерал	$-\Delta G^0$ кДж/моль	Минерал	$-\Delta G^0$ кДж/моль
галенит	3132	халькопирит	178490
арсенопирит	109500	сфалерит	203570
висмутин	152900	гематит	741700
пирит	162000	кварц	855690

Действительно, в соответствии с формулой (6), эффективность дробления (которая также $\sim 1/G^0$) золото-кварц-сульфидных руд значительно ниже, чем перечисленных выше. В связи с этим большинство место-

рождений упорных руд Казахстана пока не разрабатываются.

Используя (6) и (9), можно экспериментально определять врожденное физическое свойство минерала. Например, измеряя χ/χ_0

как функцию температуры, можно определить врожденное магнитное свойство минерала. Таким же образом можно определять и врожденные электрические, тепловые и другие свойства минералов.

Заключение

Анализ эволюционных изменений минеральной системы с учетом присущей ей врожденной способности позволяет сформулировать следующие основные положения концепции эволюционности развития минералов.

– минерал обладает способностями саморазвития, самоорганизации и адаптации, соотносящимися с определенными свойствами минералогической среды;

– потеря минералом врожденной способности чревата его разрушением;

– предпочтительной формой развития минеральной системы является такая, при которой качество врожденной способности системы не меняется, но может меняться количество. В этом случае минеральная система развивается эволюционно.

Список литературы

1. Барабанов В.Ф. Генетическая минералогия. – Л.: Недра, 1977. – 326 с.
2. Григорьев Д.П., Жабин А.Г. Онтогенез минералов. Индивидуальность. – М.: Наука, 1979. – 337 с.
3. Бушмакин А.Ф. Унаследованное строение кристаллов пирита из пород с углеродистым веществом. Проблемы онтогенеза минералов. – Л.: Наука, 1980. – С. 73–82.
4. Булах А.Г. Общая минералогия. – СПб.: Изд-во СПб университета, 1999. – 356 с.
5. Сустанов О.А. Генетическая минералогия: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2002. – 40 с.
6. Скрипов В.П., Коверда В.П. Проблемы кристаллографии: К столетию со дня рождения академика А.В. Шубникова. – М.: Наука, 1987. – С. 232–246.
7. Юшкин Н.П. Теория и методы минералогии. – Л.: Наука, 1977. – 291 с.
8. Портнов В.С., Юров В.М. Связь магнитной восприимчивости магнетитовых руд с термодинамическими параметрами и содержанием железа // Известия вузов. Горный журнал. – 2004. – № 6. – С. 122–127.
9. Изойтко В.М. Технологическая минералогия и оценка руд. – СПб.: Наука, 1997. – 582 с.
10. Дьяченко А.В. Основания теории трансформационной экономики. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2001. – 120 с.
11. Портнов В.С. Термодинамический подход к задачам геофизического опробования железорудных месторождений. – Караганда: КГТУ, 2003. – 212 с.
12. Яворский В.В., Юров В.М. Прикладные задачи термодинамического анализа неравновесных систем. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 338 с.
13. Буллах А.Г., Буллах К.Г. Физико-химические свойства минералов и компонентов гидротермальных растворов. – Л.: Недра, 1978. – 167 с.

References

1. Barabanov V.F. Genetic mineralogy. L.: Nedra, 1977. 326 p.
2. Grigorev D.P., Zhabin A.G. Ontology of minerals. Individuals. M.: Nauka. 1979. 337 p.
3. Bushmakina A.F. The inherited structure of pirit crystals from breeds with carbonaceous substance. Problems of ontology of minerals. L.: Nauka. 1980. pp. 73–82.
4. Bulah A.G. The general mineralogy. Spb.: university Publishing house Spb. 1999. 356 p.
5. Sustavov O.A. Genetic mineralogy. The manual. Ekaterinburg.: publishing house UGGA. 2002. 40 p.
6. Skripov V.P., Koverda V.P. In the book: Problems of crystallography: By century from the date of a birth of academician A.V. Shubnikov. M.: Nauka, 1987. pp. 232–246.
7. Jushkin N.P. The theory and mineralogy methods. L.: Nauka, 1977. – 291 p.
8. Portnov V.S., Jurov V.M. Communication of a magnetic susceptibility of iron ores with thermodynamic parameters and the iron maintenance. – News of high schools. Mountain magazine, 2004. no. 6. pp. 122–127.
9. Izoitko V.M. Technological mineralogy and estimation of ores. Pb.: Nauka, 1997. 582 p.
10. Djachenko A.V. The bases of the theory of transformation of economy. Volgograd: Publishing house VolGU, 2001. 120 p.
11. Portnov V.S. The thermodynamic approach to problems of geophysical approbation of deposits of iron ores. Karaganda: KGTU, 2003. 212 p.
12. Yavorsky V.V., Jurov V.M. Applied problems of the thermodynamic analysis of nonequilibrium systems. M.: Energoatomizdat, 2008. 338 p.
13. Bulah A.G., Bulah K.G. Physical and chemical properties of minerals and components of hydrothermal solutions. L.: Nedra, 1978. 167 p.

Рецензенты:

Ходжаев Р.Р., д.т.н., профессор, директор «Научно-инженерный центра «ГЕОМАРК», г. Караганда;

Емелин П.В., д.т.н., профессор, начальник отдела предупреждения ЧС и управления рисками, КазНИИ по безопасности работ в горной промышленности, г. Караганда. Работа поступила в редакцию 09.02.2012.