



ГИПОТЕЗЫ, СООБЩЕНИЯ, ДИСКУССИИ

Научная статья

УДК 550.423+550.424+553.3+553.6

<https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-97-124>



Химические элементы, минералы и горные породы в единой объемной модели

М.М. Лабушев^а, Т.М. Лабушев^б, А.Н. Хохлов^с

^аСибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

^бНациональный исследовательский университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия

^сООО «Геоэкономика», г. Красноярск, Россия

Резюме. Целью проведенного исследования являлась детализация предложенной ранее единой объемной модели позиционирования химических элементов, минералов и горных пород в земной коре, выработка терминологии для ее описания и характеристика системных свойств модели. Методы исследования включали логико-математический анализ модели на основе атомных весов химических элементов, их валентностей и электроотрицательности, а также атомных весов химических элементов в составе минералов с расчетом показателей многомерной пропорциональности каждой из указанных характеристик. Эти методы были использованы для дальнейшего развития высказанного ранее предположения о том, что минералы по возрастанию показателя многомерной пропорциональности атомных весов химических элементов в своем составе располагаются в объемной модели так же, как по возрастанию атомных весов в такой модели располагаются химические элементы. Горные породы, как и минералы, располагаются в порядке возрастания значений этого показателя, при этом горная порода по показателю многомерной пропорциональности соответствует определенному минералу. В результате исследования выполнен общий анализ системных свойств вертикальных пространственных групп химических элементов модели, эти группы разделены на два типа в зависимости от присутствия газа или твердого химического элемента в первой позиции. Изучены закономерности изменения валентностей и электроотрицательности химических элементов в таких пространственных группах, выполнены анализы многомерных данных для элементов этих групп. Сделан расчет значений многомерного показателя для первых 760 минералов с использованием программы Agemarker с открытым кодом. Анализ многомерных данных подтверждает разделение групп на два типа. По результатам анализа их взаимного расположения предположено существование газовых каналов миграции химических элементов. Определены возможные пути миграции химических элементов в объемной модели при образовании некоторых минералов. Рассмотрено взаимное расположение некоторых месторождений для подтверждения пространственных характеристик объемной модели. Предложена новая парадигма геологических исследований, заключающаяся в позиционировании минералов и горных пород в объемной модели и определении возможных путей миграции химических элементов при образовании минералов и горных пород.

Ключевые слова: объемная модель, периодическая система, химические элементы, минералы, горные породы, информационный коэффициент пропорциональности, показатель многомерной пропорциональности, миграция химических элементов

Для цитирования: Лабушев М.М., Лабушев Т.М., Хохлов А.Н. Химические элементы, минералы и горные породы в единой объемной модели // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46. № 1. С. 97–124. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-97-124>.

HYPOTHESES, REPORTS, DISCUSSIONS

Original article

Chemical elements, minerals and rocks in a single three-dimensional model

Mikhail M. Labushev^а, Timofei M. Labushev^б, Aleksandr N. Khokhlov^с

^аSiberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

^бITMO University, Saint Petersburg, Russia

^сGeoeconomics LLC, Krasnoyarsk, Russia

© Лабушев М.М., Лабушев Т.М., Хохлов А.Н., 2023



Abstract. The purpose of the study is refining of the proposed earlier unified three-dimensional model for the positioning of chemical elements, minerals, and rocks in the earth's crust, as well as working out its description terminology and model system properties specification. The research methods included the logical and mathematical analysis of the model based on atomic weights of chemical elements, their valences and electronegativity, as well as on the atomic weights of chemical elements present in the composition of minerals and calculation of multidimensional proportionality indexes for each of given characteristics. The methods were used for further development of the previously introduced assumption that within the three-dimensional model minerals are arranged in the ascending order of the index of multidimensional proportionality of atomic weights of chemical elements in their composition, similarly to the way the chemical elements are positioned in the model according to the increase of their atomic weights. Both rocks and minerals are arranged in the ascending order of this index, whereas rocks correspond to a certain mineral in terms of the multidimensional proportionality index. As a result of the study, a general analysis of the system properties of vertical spatial groups of chemical elements of the model was carried out with groups being divided into two types depending on the presence of a gas or a solid chemical element in the first position. The variation patterns of chemical element valencies and electronegativity were studied in these spatial groups. Also, the analyses of multidimensional data were performed for the elements of these groups. The values of the multidimensional index were calculated for the first 760 minerals using the Agemarker open source program. The analysis of multivariate data confirmed the division of groups into two types. Having analyzed their mutual arrangement, the authors suggested the existence of gas channels of chemical element migration and determined possible migration paths of chemical elements in the three-dimensional model under the formation of some minerals. The relative position of some fields was considered in order to confirm the spatial characteristics of the three-dimensional model. The authors have introduced a new paradigm of geological research positioning minerals and rocks in a three-dimensional model and determining possible migration paths of chemical elements when minerals and rocks are formed.

Keywords: three-dimensional model, periodic system, chemical elements, minerals, rocks, information coefficient of proportionality, index of multidimensional proportionality, migration of chemical elements

For citation: Labushev M.M., Labushev T.M., Khokhlov A.N. Chemical elements, minerals and rocks in a single three-dimensional model. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2023;46(1):97-124. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-97-124>.

Введение

Периодическая система химических элементов в основном представляется в двух измерениях, тем не менее данный вопрос до сих пор является открытым [1]. Объемные представления системы известны еще со времен А. де Шанкуртуа и в последнее время получили новое развитие [2, 3]. В данной работе предлагается объемная модель системы минералов и горных пород в виде условного куба (кубоида) с вакансией в первой позиции (далее – объемная модель или кубоид) (рисунок).

Ранее такая модель была предложена для химических элементов [4] с указанием на возможность ее применения для систематизации минералов и горных пород. На ее основе, например, было дано общее объяснение существования месторождений так называемой пятиэлементной формации.

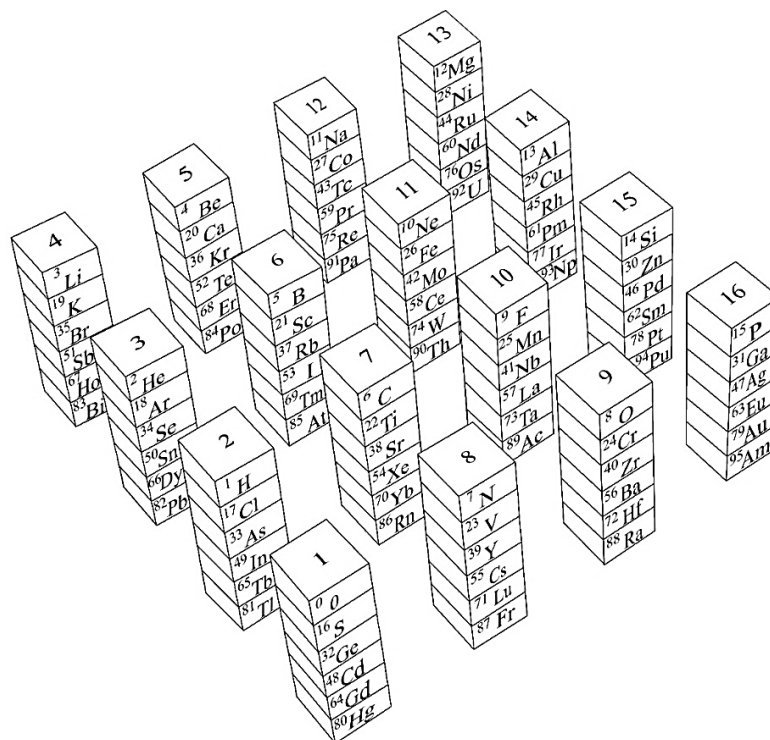
Данный кубоид предлагается использовать для выявления закономерностей совместного нахождения минералов и горных пород в земной коре. При этом принимается, что каждая горная порода по среднему значению I_{av} массива симметризованных информационных коэффициентов пропорциональности I_p атомных весов [5, 6] – основному показателю многомерной пропорциональности атомных

весов – ассоциируется с показателем, присущим определенному минералу [7], а тот, в свою очередь, сопоставляется с местом расположения в модели одного из первых 95 химических элементов периодической системы.

Информативность показателя I_{av} была косвенно проверена обнаружением в природе бинарных масс «твердые – газообразные химические элементы» [8]. При использовании предлагаемой модели наши представления о закономерностях распределения минералов и горных пород в земной коре могут быть существенно расширены.

Целью проведенного исследования являлась детализация предложенной ранее единой объемной модели позиционирования химических элементов, минералов и горных пород в земной коре, выработка терминологии для ее описания и характеристика некоторых системных свойств модели с прицелом на ее незамедлительное практическое использование с применением единой терминологии.

Все расчеты подтверждают сделанное ранее предположение об универсальности рассматриваемой объемной модели, уточняют позиционирование в кубоиде первых 95 минералов и впервые устанавливают позиции еще 665 минералов.



*Кубоид с пронумерованными вертикальными пространственными группами
и порядковыми номерами химических элементов*
Cuboid with numbered vertical space groups and atomic numbers of chemical elements

Материалы и методы исследования

Основным методом исследований являлся логико-математический анализ модели на основе атомных весов химических элементов, их валентностей и электроотрицательности, а также атомных весов химических элементов в составе минералов с расчетом показателей многомерной пропорциональности каждой из указанных характеристик в программе Agemarker с открытым кодом.

Была использована база данных Международной минералогической ассоциации (англ.: International Mineralogical Association, IMA), которая на момент начала расчетов включала информацию о 5704 минералах. Атомные веса для всех расчетов были приняты по данным Комиссии по содержанию изотопов и атомным весам Международного союза теоретической и прикладной химии (англ.: Commission on Isotopic Abundances and Atomic Weights of the International Union of Pure and Applied Chemistry) от 2019 г.

Результаты исследования и их обсуждение

Описание кубоида химических элементов, минералов и горных пород. Рассматри-

ваемый кубоид характеризуется вертикальными группами по шесть химических элементов и горизонтальными периодами по четыре элемента. Отличие этих пространственных групп и периодов от таковых в периодической таблице химических элементов подчеркивается их наименованием как пространственных образований. Все группы предлагается называть по их порядковому номеру, а также по первому и последнему химическим элементам. Ассоциации групп привязываются к граням куба и плоскостям, которые им параллельны. Грани характеризуются четырьмя химическими элементами в вершинах кубоида с их перечислением в порядке возрастания атомных весов.

Рассмотрим грани модели: H-Li-Mg-P (1), H-Li-Bi-Hg (2), Li-Mg-U-Bi (3), H-P-Am-Hg (4), P-Mg-U-Am (5), Hg-Bi-U-Am (6). В скобках указаны их номера. Нумерация проведена по возрастанию сумм атомных весов химических элементов, ассоциированных с ними. Водород, находящийся во 2-й пространственной группе, при наименовании граней использован вместо вакансии 1-й пространственной группы.

Для обоснования порядка нумерации граней были сделаны расчеты нескольких пока-



зателей как на основе атомных весов стабильных химических элементов, граней кубоида, так и в их совокупности с атомными весами радиоактивных элементов (табл. 1). Значения показателя 6 многомерной пропорциональности определялись на основе минимального и максимального атомных весов химических элементов грани. Значения показателя 7 рассчитаны по атомным весам всех химических элементов грани. Расчеты выполнялись в программе Agemark с открытым кодом [6].

Для сочетаний по два атомных веса при расчете показателя 6 определялось точное теоретическое значение показателя многомерной пропорциональности с использованием расчетов по формуле биномиального распределения, результаты показаны в графе 7 табл. 1. При расчете показателя 7 для первой, второй и четвертой граней с вакансией бралось по 15 атомных весов и по 16 атомных весов для каждой из остальных граней кубоида. По этим исходным данным сделана оценка показателя многомерной пропорциональности на основе расчета 2 млн информационных коэффициентов пропорциональности для атомных масс каждой грани.

Значения всех показателей первой и шестой граней намного отличаются от таковых для остальных граней. По тенденции изменения наиболее информативны значения показателей в графах 6–8, от второй до шестой грани они возрастают (графа 6) или убывают (графы 7–8). Единственный показатель, зна-

чения которого имеют однозначную тенденцию (возрастания) от первой до шестой грани – это сумма атомных весов всех химических элементов грани (графа 6). Этот показатель принимаем как ее наиболее информативную характеристику.

Отметим, что кубоид характеризуется неопределенностью суммы атомных весов для всех его граней из-за области вакансии и некоторой неопределенности атомных весов радиоактивных химических элементов, ассоциированных с этими гранями. Вторая грань, которая не содержит радиоактивных химических элементов, имеет другую причину неопределенности – область вакансии.

Для характеристики кубоида в первую очередь предлагается использовать его четные грани. Вторая грань определяется группами 1-2-3-4 с максимальным размахом атомных весов стабильных химических элементов. Эти группы считаем также группами первой матрицы, а группы 5-6-7-8, 9-10-11-12 и 13-14-15-16, соответственно, группами второй, третьей и четвертой матрицы этой грани. Группы четвертой матрицы формируют уже другую грань, их в общем случае считаем группами первой матрицы пятой грани, а группы 9-10-11-12 в таком же случае характеризуем как группы второй матрицы этой же грани.

Первую матрицу четвертой грани составляют элементы групп 1-8-9-16 с максимальным размахом варьирования атомных весов всех химических элементов кубоида. Остальные группы можно рассматривать как матрицы,

Таблица 1. Значения альтернативных показателей граней кубоида
Table 1. Values of alternative indexes of cuboid faces

Номер грани	Размах варьирования атомных весов стабильных химических элементов	Размах варьирования атомных весов всех химических элементов	Сумма атомных весов «вершинных» химических элементов	Сумма атомных весов стабильных химических элементов	Сумма атомных весов всех химических элементов грани	Показатель 6	Показатель 7*
1	2	3	4	5	6	7	8
1	30	30	63	246	246	0,4998	0,3911
2	208	208	418	2397	2397	0,5295	0,4204
3	202	231	478	2075	2753	0,5029	0,4073
4	187	242	476	2069	2761	0,4792	0,3948
5	173	219	536	2152	3114	0,4516	0,3891
6	8	42	891	821	3564	0,3333	0,3325

Примечание. * Для первой грани при учете дополнительного атомного веса водорода вместо вакансии этот показатель равен 0,4083.



которые параллельны этой грани: 2-7-10-15, 3-6-11-14. Это, соответственно, вторая и третья матрицы четвертой грани, при этом группы 3-6-11-14 предпочтительнее определять как группы второй матрицы третьей грани.

Таким образом, вторая и четвертая грани дают возможность полной характеристики положения в кубоиде вертикальных пространственных групп, а также их ассоциаций во взаимно перпендикулярных плоскостях. В связи с первой гранью можно рассматривать химические элементы в коротких непрерывных и дискретных пространственных горизонтальных периодах. Непрерывность или дискретность определяются различием в изменчивости атомных весов химических элементов в таких периодах.

В пределах этой грани «параллельно» и «перпендикулярно» второй грани располагаются химические элементы, объединенные, соответственно, в шестнадцать непрерывных и шестнадцать дискретных коротких периодов по четыре химических элемента в каждом. Первый непрерывный период – 0-H-He-Li, второй – Be-B-C-N, ..., пятый – S-Cl-Ar-K, ..., двадцать четвертый – U-Np-Pu-Am, первый дискретный период – 0-N-O-P, второй – H-C-F-Si, ..., пятый – S-V-Cr-Ga, ..., двадцать четвертый – Bi-Po-Pa-U.

По аналогии с матрицами второй и четвертой граней можно охарактеризовать короткие периоды в связи с шестью матрицами первой грани. Кроме граней рассмотрим и ребра кубоида, их предлагается называть как по первому и последнему химическим элементам, так и по всем четырем химическим элементам, связанным с рассматриваемым ребром, например ребро Hg-Bi (Hg-Tl-Pb-Bi). Короткие периоды обозначаем начиная с химических элементов с наименьшими атомными весами. Вместо вакансий в названиях граней и ребер указываем водород.

В некоторых случаях рациональны альтернативные термины для характеристики граней модели. Первую грань считаем верхней (top face), вторую – левой (left face), третью – фронтальной (front face), четвертую – дорсальной (dorsal face), пятую – правой (right face), шестую – нижней (lower face). Как указывалось ранее, с каждой гранью обычно счи-

таем ассоциированными две матрицы, но допустимо ассоциировать и все четыре матрицы, например для характеристики изменчивости свойств атомов и химических соединений в направлении, перпендикулярном этой грани.

В общем случае также упоминаем по три матрицы верхней и нижней граней, а в частном случае все шесть матриц ассоциируем с верхней или нижней гранями. Верхняя и нижняя грани составляют пару горизонтальных граней, фронтальная и дорсальная грани являются фронтальными, а левую и правую грани считаем боковыми.

Введем понятия, характеризующие смежные элементарные и составные объемы кубоида. Каждый химический элемент сопоставляется с соответствующим элементарным объемом. Среди составных объемов различим дискретные и непрерывные, характеризуем их ассоциированными с ними химическими элементами, избегая неопределенности. Например, непрерывный объем 0-Ge 1-й группы, который включает элементарные объемы вакансии, серы и германия. Непрерывный объем предлагается упоминать просто как объем. Будем также различать межгрупповые, в том числе и диагональные объемы, например объем серы и титана S-Ti.

Можно также упомянуть дискретный объем 0-Ge, который включает объемы вакансии и германия, при этом не возникает неопределенности его состава. Если же мы укажем на дискретный объем 0-Cd, то неопределенность состава этого объема проявляется, так как речь может идти как об элементарных объемах вакансии, германия и кадмия, так и об объемах вакансии, серы и кадмия, а также объемах вакансии и кадмия. С геологической точки зрения интересны некоторые дискретные объемы, так что можно будет перейти от изучения дискретного объема Ag-Au к рассмотрению (непрерывного) объема того же наименования.

Определим также операции объединения и пересечения дискретных и непрерывных объемов в соответствии с одноименными операциями со множествами. Например, объединение дискретных объемов 0-Ge и Cd-Hg дает четыре элементарных объема 0, Ge, Cd, Hg,



в то время как объединение объемов O-Ge и Cd-Hg дает нам все объемы 1-й пространственной группы. Пересечения указанных пар дискретных и непрерывных объемов не содержат химических элементов.

Элементарные объемы кубоида могут быть смежными по грани, ребру или по точке. Так, объемы серы и ванадия, серы и хлора являются смежными. Для первой пары объемов это смежность по боковым, а для второй пары – по фронтальным граням. Следует также определить диагональную смежность по ребру: это, например, случай взаимного расположения серы и титана.

Другой тип смежности будем различать при разных позициях химических элементов в смежных пространственных группах относительно вертикальных граней: это, например, случай объемов серы и иттрия, а также серы и мышьяка. Рассмотрим позиции этих элементов относительно верхней грани. Сера располагается выше упомянутых химических элементов, смежных с ней по ребру, считаем ее во второй позиции (выше), в то время как итрий и мышьяк занимают третью позицию (ниже). Позиции рационально указывать и в случае диагональной смежности по точке, например, в случае серы и стронция сера располагается во второй позиции, а стронций – в третьей. Возможные типы смежности химических элементов показаны на примере первых двух объемов 1-й пространственной группы (табл. 2) и объемов, смежных с ними.

Системные свойства кубоида в свете свойств химических элементов. Важную роль в образовании соединений химических элементов играют их свойства, такие как валентность (способность атома образовывать химические связи с другими атомами) и электроотрицательность или степень окисления

(свойство атомов элементов оттягивать на себя электроны от других атомов в соединении). Поэтому перспективно рассмотрение валентностей и электроотрицательности химических элементов в приложении к частям кубоида, в первую очередь к пространственным группам.

Установлено, что в пространственных группах элементы имеют, как правило, равные валентности. Чередуются группы химических элементов со значениями валентности II и III. Так, в нечетных группах (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15) у химических элементов имеется валентность II, в четных группах (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16) – валентность III. Исключения в отмеченной закономерности наблюдаются для 24 химических элементов из 95: Gd, H, He, Ar, Dy, Li, K, Cs, Fr, Sr, Xe, Rn, Rb, Kr, Er, Na, Tc, Pa, Ne, Ce, Th, F, Hf, Nd.

В нечетных, диагонально расположенных группах 1-7-11-13, 9-15, 3-5, а также 3-7-9, 5-11-15 химические элементы имеют одинаковые значения валентности, равные II, а в четных группах 4-6-10-16, 2-8, 12-14, а также 8-10-14 и 2-6-12 – одинаковые значения валентности, равные III. При этом в пределах пятой грани (P-Mg-U-Am), включающей группы 16, 15, 14, 13, отклонения от установленной закономерности практически не отмечаются.

Данное обстоятельство объясняется прежде всего тем, что в данных группах отсутствуют инертные газы с валентностью, равной 0, а также элементы, которые по своему строению электронных оболочек не могут иметь валентность более I. Единственное отклонение от установленной закономерности отмечается в группе 13: это химический элемент Nd, относящийся к лантаноидам, который не имеет валентности II, присущей всем элементам этой группы.

Таблица 2. Типы смежности объемов химических элементов в кубоиде
Table 2. Types of chemical element volume adjacency in the cuboid

Смежность по грани				Смежность по ребру				Смежность по точке	
Фронтальные грани		Боковые грани		Фронтальные грани		Боковые грани		Первая позиция	Вторая позиция
				Первая позиция	Вторая позиция	Первая позиция	Вторая позиция		
O	H	O	N	O	Cl	O	V	O	Ti
S	Cl	S	V	S	As	S	Y	S	Sr
				H	S	N	S	C	S



Отметим, что из двадцати четырех химических элементов, относящихся к разряду исключений, пять химических элементов: H, K, F, Na и Li – по своему строению электронных оболочек не могут иметь валентность более I; другие шесть химических элементов: He, Ne, Ar, Xe, Rn, Kr – имеют валентность, равную 0 (инертные). Особые обоснования отклонений применимы к тринадцати химическим элементам: Gd, Dy, Pa, Tc, Pr, Hf, Cs, Fr, Sr, Rn, Rb, Er, Nd. Из них основное количество – одиннадцать химических элементов – имеют только одну постоянную валентность: Cs (I), Fr (I), Rb (I), Sr (II), Gd (III), Dy (III), Pr (III), Er (III), Th (IV), Hf (IV), Tc (VI).

Только два химических элемента: Ce и Nd – имеют переменные значения валентности, отличающиеся от значений по группам 11 и 13 соответственно. Рассмотрим отдельно характеристики последних. Ce и Nd имеют переменную валентность III и IV (в группах, для которых установлена валентность, равная II). Церий и неодим относятся к лантаноидам, по химическим свойствам весьма сходны между собой, что объясняется строением электронных оболочек их атомов: по мере увеличения заряда ядра структура двух внешних электронных оболочек не меняется, так как происходит заполнение электронами третьей снаружи оболочки – глуболежащего 4f-уровня. Максимально возможное число электронов на f-уровне равно 14, что определяет число элементов семейства лантаноидов. Эти элементы входят в одну подгруппу: цериевую, включающую церий Ce, празеодим Pr, неодим Nd, прометий Pm, самарий Sm, европий Eu.

Закономерную изменчивость валентности химических элементов, объединенных в пространственные группы, предлагается рассматривать как одно из системных свойств рассматриваемого кубоида. Исключения есть, но они есть и в классически охарактеризованных закономерностях периодической таблицы химических элементов [9]. Еще одним направлением исследования валентности может быть анализ «странных» валентностей химических элементов в минералах [10] и учет ограничений на использование понятия «валентность» как интегральной характеристики способности элемента присоединять определенное число

других элементов при образовании любой разновидности химической связи [11].

Для выявления других системных свойств кубоида были использованы как сами показатели электроотрицательности химических элементов, так и расчеты показателей многомерной пропорциональности электроотрицательностей (ПМПЭ) (*англ.*: index of multidimensional proportionality of electronegativity) и многомерной пропорциональности атомных весов химических элементов (ПМПВ) (*англ.*: index of multidimensional proportionality of atomic weights) в пространственных группах. В дальнейшем выделялись и анализировались ассоциации групп, близких по этим трем различным показателям.

Изменчивость электроотрицательности химических элементов eV по шкале Малликена в пространственных группах изучалась нами при помощи построения и сравнения гистограмм показателей электроотрицательности для смежных пространственных групп.

Наибольшее сходство в тенденциях изменения электроотрицательности химических элементов в одних и тех же пространственных позициях отмечено в смежных пространственных группах 4 и 5, 12 и 13, 13 и 14. Это три из пяти смежных в пространственных группах пар, у которых в первой позиции располагается твердый химический элемент. По одному различию отмечено в пространственных группах 3 и 6, 11 и 14, 14 и 15, 15 и 16. Последнее две пары также имеют в первой позиции твердый химический элемент. В остальных парах групп такой закономерности не наблюдалось.

Тем не менее полученные данные позволяют уверенно отличить по изменению показателей электроотрицательности пространственные группы третьей и пятой граней объемной модели и смежные с ними пространственные группы 3, 6 и 11 от остальной части модели. За исключением пространственных групп 3 и 11 все перечисленные группы имеют твердый химический элемент в первой позиции. В дополнение к этому отметим, что в перечисление не попадает только 3-я пространственная группа из числа групп с твердым химическим элементом в первой позиции.

Дополнительная информация была получена после расчетов показателей многомер-



ной пропорциональности. При этом имитировался «рост» модели от первой грани к шестой, что в пространственных группах соответствует последовательному добавлению химических элементов от первой до шестой позиций. Соответственно такому «росту» были рассчитаны ПМПЭ и ПМПВ для химических элементов всех пространственных групп. Другими словами, указанные показатели вычислялись для двух химических элементов в первой и второй позициях каждой группы, а затем для следующих расчетов последовательно добавлялись показатели электроотрицательности или атомные веса химических элементов в третьей, четвертой, пятой и шестой позициях каждой расчетной группы.

Если показатели электроотрицательности для химических элементов eV по шкале Малликена (табл. 3) в шестой позиции не определены, например, для актиния в 10-й пространственной группе, то расчеты для пяти и шести элементов группы показаны как равные по величине.

Оценивалось сходство в изменении электроотрицательностей химических элементов разных пространственных групп в одних и тех же пространственных позициях путем попарного сравнения соответствующих диаграмм. Наибольшее сходство отмечено в пространственных группах 4 и 5, 12 и 13, 13 и 14. Все эти пары составляют группы, которые смежны в модельном пространстве. Кроме этого, смеж-

ны в указанном пространстве первые две из перечисленных пар, а последние две пары имеют общую 13-ю группу. Это можно интерпретировать как взаимное «влияние» смежных пространственных групп и даже пар групп. Возникает вопрос о природе этого влияния, и ответа на него еще нет.

По одному различию отмечено в пространственных группах 3 и 6, 11 и 14, 14 и 15, 15 и 16. В модельном пространстве это хорошо сопоставляется с тем, что отмечалось для пространственных групп 4 и 5, 12 и 13, 13 и 14, только отмечается больше пар с общей группой. В остальных парах групп закономерной изменчивости электроотрицательности не наблюдалось.

Полученные данные позволяют «отделить» пространственные группы третьей и пятой граней объемной модели и смежные с ними пространственные группы 3, 6 и 11 от остальной части модели. Такое разделение групп близко к соотношению $2/3$ и $1/3$, и оно, предположительно, важно.

Дополнительная информация о модели была получена при анализе результатов ПМПЭ и ПМПВ. Для 1-й пространственной группы невозможен расчет ПМПЭ и ПМПВ для двух первых химических элементов из-за области вакансии. При расчетах с атомными весами для радиоактивных химических элементов брались приближительные атомные веса, для определения результирующего показателя I_{av}

Таблица 3. Электроотрицательность химических элементов в пространственных группах по шкале Малликена eV

Table 3. Electronegativity of chemical elements in space groups on the Mulliken scale (eV)

Электроотрицательность химических элементов в пространственных группах 1–8															
1	eV	2	eV	3	eV	4	eV	5	eV	6	eV	7	eV	8	eV
0	–	H	7,18	He	12,29	Li	3	Be	4,41	B	4,29	C	6,26	N	7,23
S	6,22	Cl	8,29	Ar	7,88	K	2,42	Ca	3,07	Sc	3,37	Ti	3,45	V	3,64
Ge	4,57	As	5,31	Se	5,89	Br	7,59	Kr	7	Rb	2,33	Sr	2,87	Y	3,26
Cd	4,14	In	3,09	Sn	4,23	Sb	4,85	Te	5,49	I	6,76	Xe	6,07	Cs	2,18
Gd	3,14	Tb	3,51	Dy	3,15	Ho	3,18	Er	3,21	Tm	3,61	Yb	3,12	Lu	2,89
Hg	4,97	Tl	3,24	Pb	3,89	Bi	4,11	Po	4,91	At	5,87	Rn	5,37	Fr	2,21
Электроотрицательность химических элементов в пространственных группах 9–16															
9	eV	10	eV	11	eV	12	eV	13	eV	14	eV	15	eV	16	eV
O	7,54	F	10,41	Ne	10,78	Na	2,84	Mg	3,62	Al	3,21	Si	4,77	P	5,62
Cr	3,72	Mn	3,46	Fe	4,03	Co	4,27	Ni	4,4	Cu	4,48	Zn	4,4	Ga	3,21
Zr	3,53	Nb	3,84	Mo	3,92	Tc	3,91	Ru	4,2	Rh	4,3	Pd	4,45	Ag	4,44
Ba	2,68	La	3,06	Ce	3,05	Pr	3,21	Nd	3,72	Pm	2,86	Sm	2,9	Eu	2,89
Hf	3,5	Ta	4,1	W	4,4	Re	3,97	Os	4,89	Ir	5,34	Pt	5,57	Au	5,77
Ra	2,69	Ac	–	Th	3,63	Pa	–	U	3,36	Np	–	Pu	–	Am	–



ПМПВ было выполнено всего по 60 млн расчетов информационных коэффициентов пропорциональности.

Все ПМПЭ групп были сортированы по возрастанию для каждого варианта расчета (табл. 4), и последовательность групп, начинающихся с твердого химического элемента, обособилась от последовательности групп с газом в первой позиции. Такие пространственные группы предлагается называть группами S (*от англ.: solid*) и G (*от англ.: gas*).

В случае, если все пространственные группы смежны и образуют непрерывную последовательность, то можно говорить о (пространственно) последовательных ассоциациях групп, например, пространственные группы 12 и 13 образуют последовательную ассоциацию в отличие от групп 12, 13 и 15. Если ассоциации групп содержат только группы S или G, то рассматриваются однородные (*англ.: homogeneous*) ассоциации HS или HG, или просто ассоциации, а если группы S или G в ассоциациях представлены в преобладающем числе, то такие ассоциации предлагается называть соответственно доминантными (*англ.: dominant*) ассоциациями S- или G-типов (DS или DG).

Обособление двух ассоциаций S- и G-групп,

отраженное в табл. 3, носит доминантный характер, значение ПМПЭ 1-й пространственной группы во всех вариантах расчетов определяет ее принадлежность к DS-ассоциации, что является признаком принадлежности этой группы к S-типу. Если принять это и провести границу двух ассоциаций DS и DG после первых десяти групп, то получаем четырнадцать anomalно расположенных пространственных групп для всех вариантов расчетов табл. 3. Не на «своих» системных местах располагается по семь S- и G-групп, чаще всего это 4-я и 2-я группы.

Если провести указанную выше границу после первых девяти групп, получаем тринадцать anomalно расположенных пространственных групп для всех вариантов расчетов, среди них девять S- и четыре G-групп, чаще всего это те же 4-я и 2-я группы. Таки образом, лучший вариант разбивки предполагает границу после первых девяти по возрастанию показателей ПМПЭ. Это подтверждается и тем, что при таком разграничении абсолютно лучший вариант с одним anomalным значением для 4-й группы мы получаем для показателей ПМПЭ всех шести химических элементов групп (последняя графа табл. 3).

Таблица 4. Сортированные значения показателей многомерной пропорциональности электроотрицательностей для двух, трех, четырех, пяти и шести химических элементов в каждой пространственной группе

Table 4. Sorted values of electronegativity multidimensional proportionality indexes for two, three, four, five, and six chemical elements in each space group

Группа	ПМПЭ 2*	Группа	ПМПЭ 3	Группа	ПМПЭ 4	Группа	ПМПЭ 5	Группа	ПМПЭ 6
1	–	15	0,3321	13	0,3329	13	0,3338	13	0,3344
15	0,3321	13	0,3329	12	0,3359	12	0,3354	12	0,3354
2	0,3327	14	0,3352	1	0,3367	15	0,3387	15	0,3387
13	0,3333	1	0,3356	14	0,3374	14	0,3398	1	0,3395
4	0,3337	12	0,3365	15	0,3375	1	0,341	14	0,3398
6	0,3341	2	0,3371	16	0,3426	16	0,3439	16	0,3439
14	0,3362	16	0,3399	5	0,3454	5	0,3469	5	0,3445
5	0,337	6	0,3413	7	0,3492	7	0,3492	7	0,3474
12	0,3383	3	0,3459	2	0,3516	6	0,3501	6	0,3503
3	0,3395	5	0,349	6	0,3539	9	0,351	9	0,3511
16	0,3438	7	0,3491	3	0,3546	2	0,3535	4	0,3531
7	0,3453	9	0,3507	9	0,3546	8	0,3564	2	0,3547
8	0,3494	8	0,3513	8	0,3596	4	0,3571	8	0,3572
9	0,3504	4	0,362	4	0,3605	11	0,3614	11	0,3586
11	0,3657	11	0,3654	11	0,3676	10	0,3622	10	0,3622
10	0,373	10	0,3688	10	0,3684	3	0,3639	3	0,3634

Примечание. * ПМПЭ – показатель многомерной пропорциональности электроотрицательностей; цифра показывает число химических элементов в расчете, начиная с первой позиции в группе, показатели электроотрицательности которых взяты для расчета. Курсивом показаны первая пространственная группа с вакансией и пространственные группы S.



Тем не менее при такой разбивке мы фактически принимаем, что 1-ю пространственную группу лучше не числить среди S-групп, даем разбивку всех шестнадцати совокупностей на девять S- и шесть G-групп, а 1-ю группу рассматриваем отдельно от всех других. В целом отметим, что близкие варианты разбивки на S- и G-ассоциации обуславливают некоторую неопределенность разделения на две совокупности групп.

Учитывая некоторую аномальность групп 2 и 4 по показателям ПМПЭ, проанализируем поведение водорода и лития, которые располагаются в их первых позициях. Водород имеет тенденцию формировать ковалентные связи с большинством неметаллов, большая часть водорода на Земле существует в молекулярных соединениях, таких как вода или органические вещества, в том числе углеводороды нефтяного ряда. Возможно, так проявляется системная тенденция специфического «сродства» водорода к твердым химическим элементам через переход его химических соединений в промежуточное от газообразного к твердому жидкое состояние. Практически весь водород на Земле находится в виде соединений, и лишь в очень незначительном количестве он содержится в атмосфере.

Литий имеет наименьшую плотность среди твердых химических элементов. Достаточно распространенный в природе LiCl встречается преимущественно в растворах, а кристаллический LiCl еще не зарегистрирован в IMA как минерал. При этом растворимость LiCl, возможно, отражает свойство лития в составе химических соединений переходить в жидкое («промежуточное» относительно газообразного) состояние в соответствии с системным свойством группы 4, в которой на первой позиции должен быть газ.

При уменьшении числа элементов в пространственных группах при расчетах ПМПЭ происходит небольшое увеличение числа аномальных групп (групп S среди преобладающих G и наоборот) и оно остается небольшим вплоть до минимально проанализированных двух показателей электроотрицательности. Это можно интерпретировать так, что уже два химических элемента в первых позициях, а возможно, и один элемент в первой позиции обладают системными свойствами всей пространственной группы.

По схеме с последовательным уменьшением числа химических элементов, отраженной в табл. 4, были сделаны расчеты ПМПВ. В табл. 5 цифрой ПМПВ, например ПМПВ 2,

Таблица 5. Сортированные значения показателей многомерной пропорциональности атомных весов двух, трех, четырех, пяти и шести химических элементов в каждой пространственной группе
Table 5. Sorted values of multidimensional proportionality indexes of atomic weights
of two, three, four, five and six chemical elements in each space group

Группа	ПМПВ 2*	Группа	ПМПВ 3	Группа	ПМПВ 4	Группа	ПМПВ 5	Группа	ПМПВ 6
1	–	1	0,3561	1	0,3672	1	0,375	1	0,38
16	0,3558	16	0,3669	16	0,375	16	0,3807	16	0,3848
15	0,3576	15	0,371	15	0,3792	15	0,3845	15	0,3886
14	0,3583	14	0,3713	14	0,3792	14	0,3852	14	0,3892
13	0,3597	13	0,3756	13	0,3842	13	0,3897	13	0,3935
12	0,3631	12	0,3767	12	0,3849	12	0,3902	12	0,3936
11	0,3677	11	0,3823	11	0,3903	11	0,3948	11	0,3979
10	0,3705	10	0,3837	10	0,3921	10	0,3963	10	0,399
9	0,37	9	0,3914	9	0,3988	9	0,4018	9	0,4038
8	0,3854	8	0,3969	8	0,4024	8	0,4047	8	0,4064
7	0,3916	7	0,4038	7	0,4083	7	0,4096	7	0,4106
6	0,3945	6	0,4078	6	0,4113	6	0,4123	6	0,4121
5	0,399	5	0,4159	5	0,4197	5	0,4191	5	0,4179
4	0,4152	4	0,4253	4	0,4257	4	0,4243	4	0,4227
3	0,4515	3	0,4458	3	0,438	3	0,4327	3	0,429
2	0,5036	2	0,4771	2	0,4593	2	0,4485	2	0,4414

Примечание. * ПМПВ – показатель многомерной пропорциональности атомных весов химических элементов; цифра показывает число химических элементов в расчете, начиная с первой позиции в группе, атомные веса которых взяты для расчета. Курсивом показаны первая пространственная группа с вакансией и пространственные группы S.



показано число химических элементов, начиная с первой позиции в группе, атомные веса которых взяты в расчет. После их сортировки по возрастанию выявилось чередование последовательностей пространственных HS- и HG-групп (см. табл. 5).

Химические элементы 1-й группы по ПМПВ также оказались близки к элементам пространственных групп S, как это уже отмечалось по результатам анализа ПМПЭ.

Для подтверждения полученных данных и получения дополнительной информации были также рассчитаны дисперсии ПМПЭ для восьми (без первой группы) и отдельно семи пространственных групп по возрастанию значения ПМПЭ (см. табл. 4). По характеру изменения этих дисперсий отчетливо различаются s-распределения дисперсий, характерные для S-групп, и g-распределения дисперсий, свойственные G-группам (табл. 6). Для s-распределений при увеличении числа химических элементов с двух до трех (до четырех элементов для групп 2, 4–6, 12–15) характерен рост дисперсий, а при дальнейшем увеличении числа элементов наблюдается постепенное

уменьшение дисперсий. Уменьшение дисперсий ПМПЭ, характеризующих g-распределения, отмечается уже при расчетах с показателями электроотрицательности двух химических элементов.

Были также рассчитаны дисперсии ПМПВ последовательностей пространственных групп двух типов и одной ассоциации (табл. 7). Как и в случае рассмотрения дисперсий ПМПЭ, отчетливо проявлено различие распределений дисперсий s- и g-типов.

По изменению дисперсий ПМПВ можно предположить, что на последовательность HS7-4 как-то воздействуют G-ассоциации, а на последовательность HG2-3 воздействуют ассоциации S-групп. И несмотря на то что для последовательностей HS12-16 и HG8-11 подобного «воздействия» не отмечается, выявленные эффекты в связи с атомными весами химических элементов позволяют говорить о том, что кубоид обладает выраженными системными свойствами и такая модель может быть свойственна всей материи, а не только образованиям земной коры.

Таблица 6. Дисперсии показателей многомерной пропорциональности электроотрицательностей ассоциаций и последовательностей пространственных групп при возрастании числа химических элементов в группах от двух до шести

Table 6. Index variances of electronegativity multidimensional proportionality of association and sequence of space groups with increasing number of chemical elements in groups from two to six

Тип	Группы	2* элемента	Группы	3 элемента	Группы	4 элемента	Группы	5 элементов	Группы	6 элементов
HS-s	4–7, 12–16	1,93E-05	4–7, 12–16	8,46E-05	4–7, 12–16	7,51E-05	4–7, 12–16	5,1E-05	4–7, 12–16	3,76E-05
DS-s	2, 4–6, 12–15	4,3E-06	2, 3, 6, 12–16	1,84E-05	2, 5, 7, 12–16	3,95E-05	5–7, 12–16	3,39E-05	5–7, 12–16	2,81E-05
DG-g	3, 7–11, 16	1,29E-04	4, 5, 7–11	6,18E-05	3, 4, 6, 8–11	3,2E-05	2–4, 8–11	1,95E-05	2–4, 8–11	1,8E-05
HG-g	2, 3, 8–11	1,94E-04	2, 3, 8–11	1,19E-04	2, 3, 8–11	4,25E-05	2, 3, 8–11	2,26E-05	2, 3, 8–11	1,77E-05

Примечание. * Число химических элементов, начиная с первой позиции в группе, дисперсии показателей многомерной пропорциональности которых взяты для расчета.

Таблица 7. Дисперсии показателей многомерной пропорциональности атомных весов химических элементов для последовательностей пространственных групп и ассоциации 1–12

Table 7. Index variances of multidimensional proportionality of chemical element atomic weights for spatial group sequences and 1–12 association

Последовательность групп	Тип	Число химических элементов				
		2	3	4	5	6
16-12	HS-s	6,06E-06	1,25E-05	1,32E-05	1,24E-05	1,09E-05
1-12	DS-s	6,06E-06	4,68E-05	3,54E-05	2,73E-05	2,28E-05
7-4	HS-g	8,38E-05	6,78E-05	4,69E-05	3,33E-05	2,3E-05
11-8	HG-g	4,73E-05	3,52E-05	2,41E-05	1,62E-05	1,2E-05
3-2	HG-s	6,79E-04	2,63E-03	1,55E-03	9,98E-04	7,02E-04



Перспективно дальнейшее изучение взаимодействия пространственных групп. Назовем это проблемой взаимодействия групп. Для решения данной проблемы рационально будет рассмотреть взаимоотношения химических элементов первой и второй позиций рассматриваемых групп в аспектах их физических и химических свойств.

Позиционирование минералов в объемной модели. Отмеченные нами закономерности свойств атомов химических элементов в пространственных группах свидетельствуют о том, что объемная модель в должной мере подтверждается свойствами химических элементов. После получения данных о достоверности объемной модели химических элементов были сделаны расчеты для позиционирования минералов в первых восьми пакетах. С сайта IMA¹ была скопирована таблица минералов в формате Excel. Все минералы были разбиты на группы по очередности расчетов.

Первоочередной для расчетов была принята примерно треть из 5704 минералов по условию минимальности разности атомных весов химических элементов в составе минералов с учетом как абсолютной, так и относительной разности. Так, для химических элементов второй половины периодической таблицы химических элементов для получения небольших по величине значений показателя I_{av} допускалась большая абсолютная разница по сравнению с элементами первой половины этой таблицы.

Поскольку минералы имеют переменный состав, их химические формулы могут отличаться от идеальных. Одни минералы, например кварц, характеризуются относительно постоянным составом, другие имеют переменный состав, не подчиняющийся постоянным и кратным отношениям. В последнем случае рационально различать минералы, у которых в современных базах данных химическая формула совпадает с эмпирической. Например, у берилла $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ структурную позицию атомов алюминия в составе природного образца могут занимать атомы хлора, а вме-

сто двух атомов алюминия (Al_2) может фиксироваться состояние $\text{Al}_{1,85}\text{Cr}_{0,15}$, но в базе данных IMA приводится только химическая формула. Этой формулой ограничивается и представление берилла в минералогической базе данных Webmineral², а также в онлайн-сборнике Handbook of Mineralogy³, размещенном Минералогическим обществом Америки.

Указанные базы данных ассоциированы с базой данных IMA, в том числе и в отношении формул минералов. Например, в состав сфалерита обычно входит железо. База данных IMA содержит только химическую формулу сфалерита ZnS , в то время как база Webmineral в качестве химической формулы приводит $(\text{Zn},\text{Fe})\text{S}$ и дополняет характеристику указанного минерала эмпирической формулой $\text{Zn}_{0,95}\text{Fe}_{0,05}\text{S}$. Рассмотрим также состав теларгпалита, который IMA и Webmineral характеризуют химической формулой $(\text{Pd},\text{Ag})_3\text{Te}$, а Webmineral в дополнение уточняет этот химический состав эмпирической формулой $\text{Pd}_{2,8}\text{Ag}_{0,2}\text{Te}$.

В случае, если IMA для минерала приводит формулу постоянного состава, для расчетов в программе с открытым кодом Agemarket брались атомные веса пропорционально этому составу: например, для сфалерита принимались в расчет по 2,1 млрд атомных весов цинка и серы. Если же IMA показывает переменную формулу минерала, в расчет брались данные эмпирической формулы: для теларгпалита, например, расчеты проводились с атомными весами палладия 2,94 млрд, атомными весами серебра 0,21 млрд и атомными весами теллура 1,05 млрд.

Эмпирические формулы брались из базы данных Webmineral, а в случае их отсутствия использовались также данные минералогической базы Mindat⁴ или сборника Handbook of Mineralogy. В отдельных случаях (при отсутствии эмпирических формул) соотношения атомных весов брались по химическому составу природных образцов минералов. Особо обратим внимание на минерал дельталюмит. Этот минерал с вакансией предположительно

¹ International Mineralogical Association [Электронный ресурс]. URL: <https://mineralogy-ima.org/> (10.11.2022).

² Webmineral [Электронный ресурс]. URL: <https://webmineral.com/> (10.11.2022).

³ Handbook of Mineralogy [Электронный ресурс]. URL: <https://handbookofmineralogy.org/> (10.11.2022).

⁴ Mindat [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mindat.org/> (10.11.2022).



не диморфен корунду, место для него в порядке возрастания ПМПВ определено условно и подлежит дальнейшему уточнению.

Атомные веса для всех расчетов приняты, как указывалось выше, по данным Комиссии по содержанию изотопов и атомным весам Международного союза теоретической и прикладной химии от 2019 г. Вначале в программе Agemarker делались расчеты 60 млн информационных коэффициентов пропорциональности I_p в одном расчетном потоке, так как иначе генератор случайных чисел выдает одно случайное число для инициации двух и более расчетов по количеству расчетных потоков. Это уменьшает объем независимых I_p , на основе которых и определялось I_{av} как среднее арифметическое массива I_p . Повторно одним потоком выполнялись итоговые расчеты 4,2 млрд I_p . Результаты каждого такого расчета для контроля сравнивались с предварительными, при необходимости анализировались причины расхождений.

Результаты расчетов представлены в табл. 8–15. Предварительный анализ указывает на правильность позиционирования минералов, но в отдельных случаях могут быть перестановки минералов, как правило, не более чем на 1–2 позиции. В исключительных случаях для минералов переменного состава может понадобиться их перестановка на 10–15 позиций, например, такое возможно для минерала дельталюмита в третьем пакете. Ранее уже была предпринята попытка позиционирования минералов первого пакета [4, 6], но не были учтены некоторые минералы, в том числе и открытые после 2012 года.

Миграция химических элементов в объемной модели. Позиция минерала в объемной модели одновременно является и позицией его «материнского» химического элемента. В общем случае ни один из химических элементов минерала не совпадает с позицией «материнского» химического элемента и должен произойти его привнос по определенному миграционному пути. Иначе, в частном случае, возможно указанное совпадение и можно говорить о первичном концентрировании химического элемента минерала.

Другими словами, совместное нахождение химических элементов в составе минералов

при их позиционировании в кубоиде должно предваряться миграцией химических элементов в определенную объемную позицию. При этом предполагается самовоспроизводство (трансляция) кубической модели [4] в горизонтальном и вертикальном направлениях. В таком представлении геологическое пространство заполнено периодически повторяющимися модельными кубоидами, которые являются единой миграционной средой.

Для примера рассмотрим сильвин KCl. Этот минерал, являясь двадцать четвертым минералом первого пакета, занимает в кубоиде позицию хрома 9Cr2, где 9 – номер пространственной группы, а 2 – позиция хрома в группе. При этом расположение как калия, так и хлора не совпадает с «материнским» хромом и они, следовательно, должны быть привнесены и вторично концентрированы в позиции этого минерала. Необходимо определить путь, по которому эти химические элементы могли попасть в область объемной позиции хрома, без рассмотрения движущих сил такой миграции.

Для характеристики миграции химических элементов минералов в объемную позицию их «материнских» химических элементов предположим, что:

- миграция из одного кубоида в другой проходит подобно миграции внутри кубоида;
- миграция имеет периодический характер со сменой направления миграции;
- миграционные потоки следуют кратчайшим расстоянием между двумя объемными позициями;
- в горизонтальном направлении элементы мигрируют только в смежные группы данного кубоида или в трансляционно-смежные группы другого кубоида, не перемещаясь за пределы таких смежных групп;
- миграция через несколько смежных групп возможна только по пространственным позициям газов и нулевой вакансии;
- нет качественного различия в процессах миграции через грани и ребра кубоида;
- в пределах пространственной группы химические элементы могут мигрировать в любую позицию этой группы, в том числе после их миграции из соседней группы.



Таблица 8. Минералы первого пакета (кубонд 1)
Table 8. Minerals of the first packet (cuboid 1)

Пози- ция	Минерал	I_{av}^*	Пози- ция	Минерал	I_{av}
0	–	–	48	Sopcheite $Ag_4Pd_3Te_4$	0,3329658
1	Aurihydrargyrite Au_6Hg_5	0,3318548	49	Telluropalladinite Pd_9Te_4	0,332973
2	Stistaite $SnSb$	0,3318673	50	Merenskyite $PdTe_2$	0,3329826
3	Danbaite $CuZn_2$	0,3318702	51	Lukkulaivaaraite $Pd_{14}Ag_2Te_9$	0,3330387
4	Zhanghengite $CuZn$	0,3318739	52	Drysdallite $MoSe_2$	0,3331977
5	Leadamalgam $HgPb_2$	0,3318787	53	Stilleite $ZnSe$	0,3332526
6	Taenite (Ni,Fe)	0,3319042	54	Mertieite-II $Pd_8Sb_{2.5}As_{0.5}$	0,3332632
7	Awaruite Ni_3Fe	0,331915	55	Villiaumite NaF	0,33328
8	Novodneprite $AuPb_3$	0,3319177	56	Giraudite-(Zn) $Cu_6(Cu_4Zn_2)As_4Se_{13}$	0,3334184
9	Chromferide $Fe_{1.5}Cr_{0.2}$	0,3319246	57	Krutaite, Petricekite $CuSe_2$	0,3334689
10	Tellurantimony Sb_2Te_3	0,3319252	58	Mgriite Cu_3AsSe_3	0,3334924
11	Ferchromide $Cr_{1.5}Fe_{0.2}$	0,331927	59	Nickelskutterudite (Ni,Co,Fe)As ₃	0,333493
12	Anyuiite $AuPb_2$	0,3319319	60	Skutterudite $CoAs_3$	0,3334944
13	Hunchunite Au_2Pb	0,3319327	61	Bellidoite Cu_2Se	0,3335313
14	Tetrataenite $FeNi$	0,33194	62	Berzelianite $Cu_{2-x}Se$	0,3335623
15	Laphamite As_2Se_3	0,3319471	63	Umangite Cu_3Se_2	0,3336526
16	Wairauite $CoFe$	0,3319568	64	Dienerite Ni_3As	0,3336613
17	Maldonite Au_2Bi	0,3319661	65	Klockmannite $Cu_{5.2}Se_6$	0,3336898
18	Kufahrite $PtPb$	0,331986	66	Athabascaite Cu_5Se_4	0,3336953
19	Insizwaite $PtBi_2$	0,3320079	67	Neighborite $NaMgF_3$	0,3337258
20	Shosanbetsuite Ag_3Sn	0,3321183	68	Oldhamite CaS	0,3338087
21	Allargentum $Ag_{1-x}Sb_x$	0,3321387	69	Mertieite-I $Pd_{5+x}(Sb,As)_{2-x}$	0,3338177
22	Atokite Pd_3Sn	0,3322024	70	Clinosafflorite $CoAs_2$	0,3338203
23	Dyscrasite $Ag_{3+x}Sb_{1-x}$	0,3322215	71	Orcelite $Ni_{5-x}As_2$	0,333853
24	Sylvite KCl	0,3322226	72	Krutovite, Rammelsbergite, Parammelsbergite $NiAs_2$	0,3338868
25	Stibiopalladinite Pd_5Sb_2	0,3322335	73	Sellaite MgF_2	0,3340139
26	Algodonite $Cu_{1-x}As_x$	0,3322421	74	Selenolaurite $RuSe_2$	0,3340211
27	Paolovite Pd_2Sn	0,3322671	75	Kurilite Ag_8Te_3Se	0,3340992
28	Stannopalladinite Pd_3Sn_2	0,3322994	76	Langisite Modderite $CoAs$	0,3341138
29	Chlorocalcite $KCaCl_3$	0,3323182	77	Maucherite $Ni_{11}As_8$	0,3341555
30	Sluzhenikinite $Pd_{15}(Sb_{7-x}Sn_x)$	0,3323686	78	Nickeline $NiAs$	0,334191
31	N_2O_5	0,3324057	79	Cryolite Na_2NaAlF_6	0,3342192
32	Naldrettite Pd_2Sb	0,3324884	80	Tyrrellite $Cu(Co,Ni)_2Se_4$	0,3342744
33	Ungavaite Pd_4Sb_3	0,3325496	81	Miessite $Pd_{11}Te_2Se_2$	0,3342766
34	Sudburyite $PdSb$	0,3325607	82	Ferroskutterudite $FeAs_3$	0,3342924
35	Lingbaoite $AgTe_3$	0,3326619	83	Viteite Pd_5InAs	0,3343241
36	Domeykite, Domeykite-β Cu_3As	0,3326648	84	Weberite Na_2MgAlF_7	0,3343369
37	Koutekite Cu_5As_2	0,3327348	85	Chlormanganokalite K_4MnCl_6	0,3343961
38	Kojonenite $Pd_{7-x}SnTe_2$	0,3327627	86	Palarstanide $Pd_5(Sn,As)_2$	0,3344
39	Paxite $CuAs_2$	0,3327829	87	Jolliffeite $NiAsSe$	0,3344182
40	Telargpalite $(Pd,Ag)_3Te$	0,3328342	88	Qingsongite BN	0,3344851
41	Hessite Ag_2Te	0,3328497	89	Oregonite $FeNi_2As_2$	0,3344927
42	Keithconnite $Pd_{20}Te_7$	0,3328664	90	Isomertieite $Pd_{11}Sb_2As_2$	0,3345081
43	Miersite, Iodargyrite AgI	0,3328879	91	Chiolite $Na_5Al_3F_{14}$	0,3345597
44	Stützite $Ag_{5-x}Te_3$	0,332915	92	Zaykovite Rh_3Se_4	0,3345709
45	Empressite $AgTe$	0,3329592	93	CO_2	0,3346444
46	Minakawaite $RhSb$	0,3329625	94	Penroseite $(Ni,Co,Cu)Se_2$	0,3346848
47	Borovskite Pd_3SbTe_4	0,3329655	95	Nickelytyrrellite $CuNi_2Se_4$	0,3347119

Примечание. * Здесь и далее (табл. 8–15) I_{av} – среднее значение массива 4,2 млрд симметризованных информационных коэффициентов пропорциональности I_p атомных весов.



Таблица 9. Минералы второго пакета (кубоид 2)
Table 9. Minerals of the second packet (cuboid 2)

Пози- ция	Минерал	I_{av}	Пози- ция	Минерал	I_{av}
0	–	–	48	Sylvanite $AgAuTe_4$	0,3374623
1	Malladrite Na_2SiF_6	0,3347411	49	Patrónite VS_4	0,3375442
2	Trogtalite $CoSe_2$	0,3347589	50	Rinneite $K_3NaFe^{2+}Cl_6$	0,3375691
3	Löllingite $FeAs_2$	0,334782	51	Jagüéite $Cu_2Pd_3Se_4$	0,3377039
4	Kullerudite $NiSe_2$	0,3348387	52	Tocornalite $(Ag,Hg)I$	0,3378406
5	Niningerite MgS	0,3348577	53	Shuangfengite rTe_2	0,3378473
6	Tornroosite $Pd_{11}As_2Te_2$	0,3348752	54	Chaméanite $(Cu,Fe)_4As(Se,S)_4$	0,3378658
7	Verbeekite $PdSe_2$	0,3350294	55	Wassonite TiS	0,3380863
8	Novakite $(Cu,Ag)_{21}As_{10}$	0,3350502	56	Molysite $FeCl_3$	0,3381958
9	Anduoite $RuAs_2$	0,3350521	57	Selenopalpaite Ag_3CuSe_2	0,3382436
10	CO	0,3350726	58	Svetlanaite $SnSe$	0,3382946
11	Bornhardtite $Co^{2+}Co^{3+}_2Se_4$	0,3351023	59	Weishanite (Au,Ag,Hg)	0,3383366
12	Naumannite Ag_2Se	0,3351426	60	Honeaite Au_3TiTe_2	0,3383826
13	Trüstedtite, Wilkmanite Ni_3Se_4	0,3351922	61	Krennerite Au_3AgTe_8	0,3384264
14	Freboldite $CoSe$	0,3352063	62	Permingeatite Cu_3SbSe_4	0,3384491
15	Mackinawite $(Fe,Ni)_{1+x}S$	0,3352234	63	Montbrayite $(Au,Ag,Sb,Bi,Pb)_{23}(Te,Sb,Bi,Pb)_{38}$	0,3384824
16	Westerveldite $FeAs$	0,3352332	64	Rustenburgite Pt_3Sn	0,3385277
17	Eskebornite $CuFeSe_2$	0,3352518	65	Calaverite $AuTe_2$	0,3385792
18	Rhodarsenide Rh_2As	0,3352577	66	Periclase MgO	0,3386249
19	Vincentite Pd_3As	0,3352951	67	Norbergite $Mg_3(SiO_4)F_2$	0,3386605
20	Mäkinenite, Sederholmite $NiSe$	0,3352995	68	Scacchite $MnCl_2$	0,3387015
21	Palladseite $Pd_{17}Se_{15}$	0,3353051	69	Mayingite $IrBiTe$	0,3387814
22	Bromargyrite $AgBr$	0,3353766	70	Mitrofanovite Pt_3Te_4	0,3387938
23	Chrisstanleyite $Ag_2Pd_3Se_4$	0,3353904	71	Maslovite $PtBiTe$	0,3389295
24	Polkanovite $Rh_{12}As_7$	0,3354387	72	Kutinaite $Ag_6Cu_{14}As_7$	0,3389304
25	Paradocrasite $Sb_2(Sb,As)_2$	0,3354737	73	Antimonoselite Sb_2Se_3	0,3389695
26	Arsenopalladinite Stillwaterite Pd_8As_3	0,3355093	74	Temagamite Pd_3HgTe_3	0,3389723
27	Oskarssonite AlF_3	0,3356194	75	Flinteite K_2ZnCl_4	0,3390834
28	Kalungaite $PdAsSe$	0,335682	76	Halite $NaCl$	0,3391047
29	Colimaite K_3VS_4	0,3357448	77	Badengzhuite TiP	0,3391771
30	Cherepanovite $RhAs$	0,3357896	78	Lawrencite $FeCl_2$	0,3392194
31	Oosterboschite $(Pd,Cu)_7Se_5$	0,3358517	79	Eucairite $CuAgSe$	0,339221
32	Ferroselite Dzharckenite $FeSe_2$	0,3358929	80	Hedleyite Bi_7Te_3	0,3393222
33	Palladodymite Palladoarsenide Pd_2As	0,3359944	81	Petzite Ag_3AuTe_2	0,3393308
34	Marathonite $Pd_{25}Ge_9$	0,3360717	82	Pampaloite $AuSbTe$	0,339367
35	Selenostephanite Ag_5SbSe_4	0,3361253	83	Bytzite Cu_3SbSe_3	0,339374
36	Nitratine $Na(NO_3)$	0,3363709	84	Yixunite Pt_3In	0,3393908
37	Achávalite $FeSe$	0,3365349	85	Chondrodite $Mg_5(SiO_4)_2F_2$	0,3394478
38	Chloromagnesite $MgCl_2$	0,3366217	86	Mazzettiite $Ag_3HgPbSbTe_5$	0,3395062
39	Cadmoselite $CdSe$	0,3367125	87	Kotulskite $Pd(Te,Bi)_{2-x}$	0,3395219
40	Palladogermanide Pd_2Ge	0,3367341	88	Ferruccite $NaBF_4$	0,3395652
41	Rutheniridosmine (Ir,Os,Ru)	0,3367458	89	Coloradoite $HgTe$	0,3397478
42	Milotaite $PdSbSe$	0,3368453	90	Geversite $PtSb_2$	0,3397735
43	Javorieite $KFeCl_3$	0,3369607	91	Muthmannite $AuAgTe_2$	0,3398608
44	Ruthenarsenite $(Ru,Ni)As$	0,3371632	92	Magnesite $Mg(CO_3)$	0,339871
45	Fluornatrocoulsellite $(Na_{1.5}Ca_{0.5})(Mg_{1.5}Al_{0.5})F_6F$	0,3372559	93	Gregoryite Natrite $Na_2(CO_3)$	0,3398813
46	Gaotaiite Ir_3Te_8	0,3372744	94	Moschelite HgI	0,3399344
47	Saltonseaitite $K_3NaMnCl_6$	0,3373579	95	Clinohumite $Mg_9(SiO_4)_4F_2$	0,3399504



Таблица 10. Минералы третьего пакета (кубоид 3)
Table 10. Minerals of the third packet (cuboid 3)

Пози- ция	Минерал	I_{av}	Пози- ция	Минерал	I_{av}
0	—	—	48	Trinepheline NaAlSiO_4	0,3413434
1	Eitelite $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{CO}_3)_2$	0,3399623	49	Schreibersite $(\text{Fe},\text{Ni})_3\text{P}$	0,3414485
2	Mellizinkalite $\text{K}_3\text{Zn}_2\text{Cl}_7$	0,3400204	50	Heklaite KNaSiF_6	0,3414618
3	Nielsenite PdCu_3	0,3400211	51	Kononovite $\text{NaMg}(\text{SO}_4)\text{F}$	0,3414719
4	Zaccariniite RhNiAs	0,3400614	52	Galeite $\text{Na}_{15}(\text{SO}_4)_5\text{ClF}_4$	0,3415342
5	Genkinite Pt_4Sb_3	0,3400886	53	Pyrope Jeffbenite $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	0,3415353
6	Aurostibite AuSb_2	0,3400964	54	Joegoldsteinite MnCr_2S_4	0,3415415
7	Natroxalate $\text{Na}_2(\text{C}_2\text{O}_4)$	0,3401195	55	Sapphirine $\text{Mg}_4(\text{Mg}_3\text{Al}_9)\text{O}_4[\text{Si}_3\text{Al}_9\text{O}_{36}]$	0,3415616
8	Moraskoite $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{PO}_4)\text{F}$	0,3401237	56	Rasvumite KFe_2S_3	0,3415957
9	Eliopoulosite V_7S_8	0,3401437	57	Yuanjiangite AuSn	0,3416768
10	Cabriite Pd_2CuSn	0,3403157	58	Palladobismutharsenide $\text{Pd}_2(\text{As},\text{Bi})$	0,3416808
11	Elgoresyite $(\text{Mg}_5\text{Si}_2)\text{O}_9$	0,3403163	59	Bradleyite $\text{Na}_3\text{Mg}(\text{PO}_4)(\text{CO}_3)$	0,3416863
12	Fluoborite $\text{Mg}_3(\text{BO}_3)\text{F}_3$	0,3403199	60	Volynskite AgBiTe_2	0,341732
13	Eugenite $\text{Ag}_{11}\text{Hg}_2$	0,3403236	61	Bortnikovite $\text{Pd}_4\text{Cu}_3\text{Zn}$	0,3417672
14	Nipalarsite $\text{Ni}_8\text{Pd}_3\text{As}_4$	0,3403725	62	Ertixiite $\text{Na}_2\text{Si}_4\text{O}_9$	0,3417788
15	Sanguite KCuCl_3	0,3403728	63	Zolenskyite Daubreelite FeCr_2S_4	0,3417821
16	Kogarkoite $\text{Na}_3(\text{SO}_4)\text{F}$	0,3404053	64	Lacroixite $\text{NaAl}(\text{PO}_4)\text{F}$	0,3418332
17	Stumpflite PtSb	0,3404053	65	Damiaoite PtIn_2	0,3418418
18	Menshikovite $\text{Pd}_3\text{Ni}_2\text{As}_3$	0,3404854	66	Burkeite $\text{Na}_4(\text{SO}_4)(\text{CO}_3)$	0,3418458
19	Forsterite Poirierite Ringwoodite Wadsleyite Mg_2SiO_4	0,3405559	67	Diaoyudaoite $\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$	0,3418536
20	Nataliyamalikite TlI	0,3405882	68	Jadeite $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$	0,3418761
21	Topaz $\text{Al}_2\text{SiO}_4\text{F}_2$	0,3406228	69	Andreyivanovite FeCrP	0,341904
22	Bambollaite $\text{Cu}(\text{Se},\text{Te})_2$	0,3406502	70	Zhiginite TiSi_2	0,3419576
23	Melliniite $(\text{Ni},\text{Fe})_4\text{P}$	0,3407021	71	Kalgorlieite As_2Te_3	0,3419694
24	Pribramite CuSbSe_2	0,3407366	72	Knasibfite $\text{K}_3\text{Na}_4(\text{SiF}_6)_3(\text{BF}_4)$	0,341987
25	Heideite $(\text{Fe},\text{Cr})_{1.15}(\text{Ti},\text{Fe})_2\text{S}_4$	0,3407484	73	Skaergaardite PdCu	0,3420273
26	Michitoshiite- $(\text{Cu})\text{Rh}(\text{Cu}_{1-x}\text{Ge}_x)$	0,3407848	74	Pertsevite- $(\text{F})\text{Mg}_2(\text{BO}_3)\text{F}$	0,3420351
27	Brezinaite Cr_3S_4	0,3408142	75	Yagiite $\text{NaMg}_2(\text{AlMg}_2\text{Si}_{12})\text{O}_{30}$	0,3421026
28	Pilsenite Bi_4Te_3	0,3408419	76	Corundum Al_2O_3	0,3421522
29	Murchisite Cr_5S_6	0,3408663	77	Albite Lingunite Kumdykolite $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$	0,3421602
30	Altaite PbTe	0,3408833	78	Hauerite MnS_2	0,3421604
31	Natrosilite $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$	0,3408913	79	Cordierite Indialite $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$ $\text{Mg}_2\text{Al}_3(\text{AlSi}_5)\text{O}_{18}$	0,3421673
32	Stibarsen SbAs	0,3408913	80	Nuwaite Ni_6GeS_2	0,3421673
33	Moncheite $\text{Pt}(\text{Te},\text{Bi})_2$	0,3409132	81	Bartonite $\text{K}_6\text{Fe}_{20}\text{S}_{26}\text{S}$	0,3422083
34	Rumoiite AuSn_2	0,340937	82	Thenardite Metathénardite $\text{Na}_2(\text{SO}_4)$	0,3423289
35	Tellurobismuthite Bi_2Te_3	0,3409786	83	Chlorbartonite $\text{K}_6\text{Fe}_{24}\text{S}_{26}\text{Cl}$	0,3423325
36	Rucklidgeite PbBi_2Te_4	0,3410529	84	Mullite $\text{Al}^{4+}_{2x}\text{Si}^{2-}_{2x}\text{O}_{10-x}$	0,3424251
37	Kochkarite PbBi_4Te_7	0,3410682	85	Davidsmithite $(\text{Ca}, \text{)}_2\text{Na}_6\text{Al}_8\text{Si}_8\text{O}_{32}$	0,342432
38	Fluoro-nyboite $\text{NaNa}_2(\text{Mg}_3\text{Al}_2)(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}\text{F}_2$	0,3410684	86	Nickelphosphide Ni_3P	0,3424767
39	Florenskyite FeTiP	0,3410784	87	Andalusite Sillimanite Al_2SiO_5 Kyanite Al_2OSiO_4	0,3425007
40	Majakite PdNiAs	0,341081	88	Gmalimite $\text{K}_6\text{Fe}_{24}\text{S}_{27}$	0,3425179
41	Spinel MgAl_2O_4	0,3411225	89	Vanthoffite $\text{Na}_6\text{Mg}(\text{SO}_4)_4$	0,3425366
42	Wagnerite $\text{Mg}_2(\text{PO}_4)\text{F}$	0,341153	90	Fluoro-richterite $\text{Na}(\text{NaCa})\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}\text{F}_2$	0,3427104



43	Tychite $\text{Na}_6\text{Mg}_2(\text{CO}_3)_4(\text{SO}_4)$	0,3411652	91	Farringtonite Chopinite $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$	0,3427306
44	Tsumoite BiTe	0,3411889	92	Pyrite Marcasite FeS_2	0,3427439
45	Niggliite PtSn	0,3411946	93	Grammatikopoulosite NiVP	0,3427859
46	Majorite $\text{Mg}_3(\text{MgSi})(\text{SiO}_4)_3$	0,3413198	94	Sodalite $\text{Na}_4(\text{Si}_3\text{Al}_3)\text{O}_{12}\text{Cl}$	0,3428212
47	Enstatite Protoenstatite Clinoenstatite (Akimotoite Bridgmanite) $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ (MgSiO_3)	0,3413199	95	Deltalumite $(\text{Al}_{0.67} \text{ } 0.33)\text{Al}_2\text{O}_4$	0,342836

Таблица 11. Минералы четвертого пакета (кубоид 4)

Table 11. Minerals of the fourth packet (cuboid 4)

Позиция	Минерал	I_{av}	Позиция	Минерал	I_{av}
0	—	—	48	Hibonite $\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$	0,3442184
1	Alabandite Rambergite Browneite MnS	0,3429182	49	Kahlenbergite $\text{KAl}_{11}\text{O}_{17}$	0,3442449
2	Fluoro-taramite $\text{Na}(\text{NaCa})(\text{Mg}_3\text{Al}_2)(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}\text{F}_2$	0,3429189	50	Lazurite $\text{Na}_7\text{Ca}(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})(\text{SO}_4)(\text{S}_3)^{1-}\text{H}_2\text{O}$	0,3442497
3	Suanite $\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5$	0,3429827	51	Magnesiotaaffeite-6N'3S $\text{Mg}_2\text{BeAl}_6\text{O}_{12}$	0,3442955
4	Kotoite $\text{Mg}_3(\text{BO}_3)_2$	0,3430273	52	Chladniite $\text{Na}_2\text{CaMg}_7(\text{PO}_4)_6$	0,3443508
5	Marialite $\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{24}\text{Cl}$	0,3430421	53	Bromellite BeO	0,3443529
6	Eifelite $\text{KNa}_2(\text{MgNa})(\text{Mg}_3\text{Si}_{12})\text{O}_{30}$	0,3430609	54	Lisette $\text{Na}_2\text{CaAl}_4(\text{SiO}_4)_4$	0,3444318
7	Sulphohalite $\text{Na}_6(\text{SO}_4)_2\text{ClF}$	0,3430718	55	Jeremejevitte $\text{Al}_6(\text{BO}_3)_5\text{F}_3$	0,3444971
8	Quartz Stishovite Tridymite Seifertite Lechatelierite Cristobalite Coesite SiO_2	0,3430874	56	Fluoro-edenite $\text{NaCa}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}\text{F}_2$	0,3445001
9	Monchetundraite Pd_2NiTe_2	0,34309	57	Pentlandite $(\text{Ni},\text{Fe})_9\text{S}_8$	0,3445041
10	Aluminomagnesiohulsite $\text{Mg}_2\text{AlO}_2(\text{BO}_3)$	0,3431909	58	Eirikite $\text{KNa}_6\text{Be}_2(\text{Si}_{15}\text{Al}_3)\text{O}_{39}\text{F}_2$	0,34453
11	Allabogdanite $(\text{Fe},\text{Ni})_2\text{P}$	0,3432298	59	Berlinite $\text{Al}(\text{PO}_4)$	0,344535
12	Roedderite $\text{KNaMg}_2(\text{Mg}_3\text{Si}_{12})\text{O}_{30}$	0,3432881	60	Schlemaite $(\text{Cu}, \text{ })_6(\text{Pb},\text{Bi})\text{Se}_4$	0,3445485
13	Boromullite $\text{Al}_9\text{BSi}_2\text{O}_{19}$	0,3433485	61	Sugakiite $\text{Cu}(\text{Fe},\text{Ni})_8\text{S}_8$	0,3445556
14	Khmaralite $\text{Mg}_4(\text{Mg}_3\text{Al}_9)\text{O}_4[\text{Si}_5\text{Be}_2\text{Al}_5\text{O}_{36}]$	0,3434035	62	Fluoro-pargasite $\text{NaCa}_2(\text{Mg}_4\text{Al})(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}\text{F}_2$	0,3445858
15	Verneite $\text{Na}_2\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{F}_{14}$	0,3434075	63	Michenerite PdBiTe	0,3446104
16	Barringerite $(\text{Fe},\text{Ni})_2\text{P}$	0,343482	64	Shenzhuangite NiFeS_2	0,3446524
17	Dumortierite $\text{AlAl}_6\text{BSi}_3\text{O}_{18}$	0,3435027	65	Kalininite ZnCr_2S_4	0,3446663
18	Magnesiotaaffeite-2N2S $\text{Mg}_3\text{BeAl}_8\text{O}_{16}$	0,3435518	66	Parascandolaite KMgF_3	0,3446899
19	Greigite $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{S}_4$	0,3435704	67	Haüyne $\text{Na}_3\text{Ca}(\text{Si}_3\text{Al}_3)\text{O}_{12}(\text{SO}_4)$	0,3446905
20	Troilite Keilite FeS	0,3435733	68	Boralsilite $\text{Al}_{16}\text{B}_6\text{O}_{30}(\text{Si}_2\text{O}_7)$	0,3446915
21	Pyrrhotite Fe_7S_8	0,343632	69	Heazlewoodite Ni_3S_2	0,3447164
22	Luanheite Ag_3Hg	0,3436531	70	Nantokite CuCl	0,3447593
23	Grandidierite $\text{MgAl}_3\text{O}_2(\text{BO}_3)(\text{SiO}_4)$	0,3437134	71	Vaesite NiS_2	0,3447892
24	Fluorophlogopite $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}\text{F}_2$	0,34377	72	Transjordanite Orishchinite Ni_2P	0,3447946
25	Hanksite $\text{KNa}_{22}(\text{SO}_4)_9(\text{CO}_3)_2\text{Cl}$	0,3437761	73	Fluoro-tremolite $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}\text{F}_2$	0,344866
26	Osumilite-(Mg) $\text{KMg}_2\text{Al}_3(\text{Al}_2\text{Si}_{10})\text{O}_{30}$	0,3437988	74	Palladothallite Pd_3Ti	0,344895
27	Nazarovite Ni_{12}P_5	0,3438004	75	Taimyrite-I $(\text{Pd},\text{Pt})_9\text{Cu}_3\text{Sn}_4$	0,3449049
28	D'ansite $\text{Na}_{21}\text{Mg}(\text{SO}_4)_{10}\text{Cl}_3$	0,3438069	76	Elpasolite K_2NaAlF_6	0,3449394
29	Shirokshinite $\text{K}(\text{Mg}_2\text{Na})\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$	0,3438421	77	Cattierite CoS_2	0,3449602
30	Jakobssonite CaAlF_5	0,343845	78	Caswellsilverite NaCrS_2	0,3449786
31	Surinamite $\text{Mg}_3\text{Al}_3\text{O}(\text{Si}_3\text{BeAlO}_{15})$	0,3438589	79	Violarite FeNi_2S_4	0,3450044
32	Nepheline $\text{Na}_3\text{K}(\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16})$	0,3438594	80	Murashkoite FeP	0,3450051
33	Tolbachite CuCl_2	0,3439217	81	Magnesium-fluoro-arfvedsonite $\text{NaNa}_2(\text{Mg}_4\text{Fe}^{3+})\text{Si}_8\text{O}_{22}\text{F}_2$	0,3451343



34	Werdingtonite $Mg_2Al_{14}Si_4B_4O_{37}$	0,3439317	82	Vozhminite Ni_4AsS_2	0,3452117
35	Fluoro-leakeite $NaNa_2(Mg_2Al_2Li)Si_8O_{22}F_2$	0,3439511	83	Huntite $CaMg_3(CO_3)_4$	0,3452206
36	Gupeite Suessite Fe_3Si	0,3439995	84	Naujakasite $Na_6Fe^{2+}Al_4Si_8O_{26}$	0,3452297
37	Sinhalite $MgAl(BO_4)$	0,3440261	85	Kieffertite $CoSb_3$	0,345241
38	Reedmergnerite $NaBSi_3O_8$	0,3440578	86	Godlevskite $(Ni,Fe)_9S_8$	0,3452794
39	Cuprokalininite $CuCr_2S_4$	0,3440699	87	Samaniite $Cu_2Fe_5Ni_2S_8$	0,3453154
40	Malinkoite $NaBSiO_4$	0,3441427	88	Perryite $(Ni,Fe)_8(Si,P)_3$	0,3453294
41	Vranaite $Al_{16}B_4Si_4O_{38}$	0,3441439	89	Millosevichite $Al_2(SO_4)_3$	0,3453416
42	Djerfisherite $K_6(Fe,Cu,Ni)_{25}S_{26}Cl$	0,3441538	90	Moschellandsbergite Ag_2Hg_3	0,3453465
43	Horomanite $Fe_6Ni_3S_8$	0,3441559	91	Zvyagintsevite Pd_3Pb	0,3454403
44	Zuktamurite FeP_2	0,3441577	92	Crowningshieldite $(Ni_{0.9}Fe_{0.1})S$	0,3454656
45	Yangzhumingite $KMg_{2.5}Si_4O_{10}F_2$	0,3441598	93	Northupite $Na_3Mg(CO_3)_2Cl$	0,3454956
46	Smythite $(Fe,Ni)_{3+x}S_4$	0,3441724	94	Murunskite $K_2(Cu,Fe)_4S_4$	0,3455558
47	Pasavaite $Pd_3Pb_2Te_2$	0,3442098	95	Carletonmooreite Ni_3Si	0,34562

Таблица 12. Минералы пятого пакета (кубид 5)
Table 12. Minerals of the fifth packet (cuboid 5)

Пози- ция	Минерал	I_{av}	Пози- ция	Минерал	I_{av}
0	—	—	48	Duranusite As_4S	0,346628
1	Grokhovskyite $CuCrS_2$	0,3456444	49	Hapkeite Fe_2Si	0,3466399
2	Henryite $(Cu,Ag)_{3+x}Te_2$	0,3456452	50	Chalcopyrite $CuFeS_2$	0,3466778
3	Millerite NiS	0,3456622	51	Djurleite $Cu_{31}S_{16}$	0,3467017
4	Poudretteite $KNa_2(B_3Si_{12})O_{30}$	0,3456655	52	Halamishite Ni_5P_4	0,3467379
5	Cobaltpentlandite Co_9S_8	0,3456663	53	Talnakhite $Cu_9Fe_8S_{16}$	0,3467706
6	Polydymite $Ni^{2+}Ni^{3+}_2S_4$	0,345683	54	Potassic-magnesian-fluoro-arfvedsonite $KNa_2(Mg_4Fe^{3+})Si_8O_{22}F_2$	0,3467969
7	Cubanite Isocubanite $CuFe_2S_3$	0,3456989	55	Sorosite $Cu_{1+x}(Sn,Sb)$	0,3468466
8	Siegenite $CoNi_2S_4$	0,3457437	56	Quadridavyne $[(Na,K)_6Cl_2][Ca_2Cl_2][(Si_6Al_6O_{24})]$	0,3468494
9	Grimmite $NiCo_2S_4$	0,3458028	57	Buseckite $(Fe,Zn,Mn)S$	0,3468909
10	Jaipurite CoS	0,3458399	58	Potarite $PdHg$	0,3469535
11	Tugtupite $Na_4BeAlSi_4O_{12}Cl$	0,3458517	59	Rorisite $CaClF$	0,3469731
12	Linnaeite $Co^{2+}Co^{3+}_2S_4$	0,3458629	60	Fletcherite $CuNi_2S_4$	0,3469758
13	Viitaniemiite $NaCaAl(PO_4)F_3$	0,3459101	61	Mavlyanovite Mn_5Si_3	0,3469768
14	Addischoffite $Ca_2Al_6Al_6O_{20}$	0,3459368	62	Nisnite Ni_3Sn	0,3470078
15	Oenite $CoSbAs$	0,3459823	63	Fukuchilite Cu_3FeS_8	0,3470142
16	Tissintite $(Ca,Na,)AlSi_2O_6$	0,3459798	64	Brianite $Na_2CaMg(PO_4)_2$	0,3470542
17	Friedrichbeckite $K(Na)Mg_2(Be_2Mg)Si_{12}O_{30}$	0,3459885	65	Carrollite $CuCo_2S_4$	0,3470888
18	Chkalovite $Na_2BeSi_2O_6$	0,3460177	66	Digenite $Cu_{1.8}S$	0,347119
19	Urvantsevite $Pd(Bi,Pb)_2$	0,3460706	67	Roxbyite $Cu_{1.78}S$	0,3471802
20	Simmonsite Na_2LiAlF_6	0,3460787	68	Natroaphthalite $KNa_3(SO_4)_2$	0,347188
21	Donwilhelmsite $CaAl_4Si_2O_{11}$	0,3461219	69	Kostovite $AuCuTe_4$	0,3471975
22	Spiridonovite $(Cu_{1-x}Ag_x)_2Te$	0,3461417	70	Abuite $CaAl_2(PO_4)_2F_2$	0,3471983
23	Froodite $PdBi_2$	0,3461522	71	Rhodizite $KBe_4Al_4(B_{11}Be)O_{28}$	0,3472074
24	Haycockite $Cu_4Fe_5S_8$	0,3461984	72	Anilite Cu_7S_4	0,3472722
25	Potassic-fluoro-pargasite $KCa_2(Mg_4Al)Si_6Al_2O_{22}F_2$	0,3462074	73	Serendibite $Ca_4[Mg_6Al_6]O_4[Si_6B_3Al_3O_{36}]$	0,3473039
26	Paraschachnerite Ag_3Hg_2	0,3462203	74	Kitagohaite Pt_7Cu	0,3473294
27	Fluoro-cannilloite $CaCa_2(Mg_4Al)(Si_5Al_3)O_{22}F_2$	0,3462548	75	Bornite Cu_5FeS_4	0,3473407
28	Negevite NiP_2	0,3462658	76	Grossite $CaAl_4O_7$	0,347381
29	Afghanite $(Na,K)_{22}Ca_{10}(Si_{24}Al_{24})O_{96}(SO_4)_6Cl_6$	0,3462683	77	Orthoclase Microcline Kokcheta-vite Liebermannite Sanidine $K(AlSi_3O_8)$	0,347424



30	Trembathite Boracite $Mg_3B_7O_{13}Cl$	0,3463109	78	Sulvanite Cu_3VS_4	0,3475117
31	Koryakite $NaKMg_2Al_2(SO_4)_6$	0,3463348	79	Kitkaite $NiTeSe$	0,347523
32	Putoranite $Cu_{1.1}Fe_{1.2}S_2$	0,3463518	80	Anorthite Stöfflerite Svyatoslavite Dmisteinbergite $CaAl_2Si_2O_8$	0,3475726
33	Laurentthomasite $Mg_2K(Be_2Al)Si_{12}O_{30}$	0,3463802	81	Nacaphite $Na_2Ca(PO_4)F$	0,3475943
34	Liottite $Na_{16}Ca_8Si_{18}Al_{18}O_{72}(SO_4)_5Cl_4$	0,3463876	82	Luobusaite $Fe_{0.8}4Si_2$	0,3476244
35	Clinophosinaite $Na_3Ca(SiO_3)(PO_4)$	0,3463943	83	Trikalsilite $K_2NaAl_3(SiO_4)_3$	0,347629
36	Rudashevskyite $(Fe,Zn)S$	0,3463957	84	Omphacite $(Ca,Na)(Mg,Fe,Al)Si_2O_6$	0,34765
37	Zangboite $TiFeSi_2$	0,3464214	85	Bubnovaite $K_2Na_8Ca(SO_4)_6$	0,3476522
38	Schachnerite $Ag_{1.1}Hg_{0.9}$	0,3464328	86	Xifengite Fe_5Si_3	0,347663
39	Sbacchiite Ca_2AlF_7	0,346479	87	Geerite Cu_8S_5	0,3477332
40	Dobrovolskyite $Na_4Ca(SO_4)_3$	0,3465134	88	Potassic-jeanlouisite $K(NaCa)(Mg_4Ti)Si_8O_{22}O_2$	0,3477394
41	Mooihoekite $Cu_9Fe_9S_{16}$	0,3465141	89	Olympite $LiNa_5(PO_4)_2$	0,3477576
42	Chalcocite Wuyanzhiite Cu_2S	0,3465149	90	Kaersutite $NaCa_2(Mg_3AlTi^{4+})(Si_6Al_2)O_{22}O_2$	0,3478646
43	Demartinite Hieratite K_2SiF_6	0,3465165	91	Sinoite Si_2N_2O	0,347898
44	Zagamiite $CaAl_2Si_{3.5}O_{11}$	0,3465211	92	Norilskite $(Pd,Ag)_7Pb_4$	0,3479373
45	Dzierzanowskite $CaCu_2S_2$	0,3465282	93	Cameronite $Cu_{5-x}(Cu,Ag)_{3+x}Te_{10}$	0,3479585
46	Koashvite $CaCu_2S_2$	0,3466119	94	Beryl $Be_3Al_2Si_6O_{18}$	0,3479599
47	SO_3	0,3466188	95	Hollisterite Al_3Fe	0,3479949

Таблица 13. Минералы шестого пакета (кубоид 6)

Table 13. Minerals of the sixth packet (cuboid 6)

Пози- ция	Минерал	I_{av}	Пози- ция	Минерал	I_{av}
0	—	—	48	Arsenopyrite $FeAsS$	0,3496052
1	Idaite Cu_3FeS_4	0,3480439	49	Zlatogorite $CuNiSb_2$	0,3496483
2	Potassic-chloro-pargasite $KCa_2(Mg_4Al)(Si_6Al_2)O_{22}Cl_2$	0,3481788	50	Marshite CuI	0,3496511
3	Narsarsukite $Na_2(Ti,Fe^{3+})Si_4(O,F)_{11}$	0,3482828	51	Balliranoite $(Na,K)_6Ca_2(Si_6Al_6O_{24})Cl_2(CO_3)$	0,3496808
4	Villamaninite CuS_2	0,3482975	52	Tainiolite $KLiMg_2Si_4O_{10}F_2$	0,3497057
5	Mangani-obertiite $NaNa_2(Mg_3Mn^{3+}Ti^{4+})Si_8O_{22}O_2$	0,3483033	53	Geffroyite $(Cu,Fe,Ag)_9Se_8$	0,3497097
6	Panunzite $K_3Na(AlSiO_4)_4$	0,3483225	54	Quadruhphe $Na_6Na_2(CaNa)_2Na_2Ti_2Na_2Ti_2$ $(Si_2O_7)_2(PO_4)_4O_4F_2$	0,3497448
7	Plumbopalladinite Pd_3Pb_2	0,3483341	55	Omariniite $Cu_8Fe_2ZnGe_2S_{12}$	0,3497606
8	Nisbite $NiSb_2$	0,348338	56	Glaucodot $(Co_{0.5}Fe_{0.5})AsS$	0,3497648
9	Spionkopite $Cu_{39}S_{28}$	0,3483554	57	Gersdorffite-P213 Gersdorffite- Pa3 Gersdorffite-Pca21 $NiAsS$	0,349868
10	Davyne $[(Na,K)_6(SO_4)_{0.5}Cl][Ca_2Cl_2]$ $[(Si_6Al_6O_{24})]$	0,3484004	58	Stanfieldite $Ca_4Mg_5(PO_4)_6$	0,3498905
11	Diopside $CaMgSi_2O_6$	0,3484358	59	Cobaltite Allocasite $CoAsS$	0,3498961
12	Ferri-obertiite $NaNa_2(Mg_3Fe^{3+}Ti)Si_8O_{22}O_2$	0,348442	60	Vulcanite $CuTe$	0,3499154
13	Linzhiite $FeSi_2$	0,348446	61	Nierite Si_3N_4	0,3499288
14	Magnesio-fluoro-hastingsite $NaCa_2(Mg_4Fe^{3+})(Si_6Al_2)O_{22}F_2$	0,3484643	62	Beryllonite $NaBe(PO_4)$	0,3499354
15	Leucite $K(AlSi_2O_6)$	0,3485116	63	Rickardite $Cu_{3-x}Te_2$	0,3499416
16	Maletoyvayamite $Au_3Se_4Te_6$	0,3485367	64	Oberthürte $Rh_3Ni_{32}S_{32}$	0,3499712
17	Nukundamite $Cu_{3.4}Fe_{0.6}S_4$	0,3485547	65	Sabatierite Cu_6TiSe_4	0,3499922



18	Silvialite $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{SO}_4)$	0,3486327	66	Capranicaite $\text{KCaNaAl}_4\text{B}_4\text{Si}_2\text{O}_{18}$	0,3500693
19	Glauberite $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$	0,3486406	67	Briartite $\text{Cu}_2\text{FeGeS}_4$	0,3500878
20	Brownleeite MnSi	0,3486643	68	Polyphite $\text{Na}_6(\text{Na}_4\text{Ca}_2)_2\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{Na}_2\text{Ti}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)_2$ $(\text{PO}_4)_6\text{O}_4\text{F}_4$	0,3501006
21	Kushiroite $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$	0,3487114	69	Mattagamite CoTe_2	0,3501171
22	Polarite $\text{Pd}(\text{Bi},\text{Pb})$	0,3487471	70	Dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	0,3501392
23	SO_2	0,3488088	71	Steklite $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$	0,3501446
24	Agrellite $\text{NaCa}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{F}$	0,348823	72	Ferroindialite $(\text{Fe}^{2+},\text{Mg})_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$	0,350257
25	Sobolevskite PdBi	0,3488474	73	Yoshiokaite $\text{Ca}_{1-x}(\text{Al},\text{Si})_2\text{O}_4$	0,3502706
26	Imandrite $\text{Na}_{12}\text{Ca}_3\text{Fe}^{3+}_2\text{Si}_{12}\text{O}_{36}$	0,3489272	74	Kalsilite Megakalsilite Kaliophilite KAlSiO_4	0,350283
27	Zemkorite Nyerereite $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$	0,3489323	75	Monticellite $\text{CaMg}(\text{SiO}_4)$	0,3502845
28	Magnesio-ferri-fluoro-hornblende $\text{Ca}_2(\text{Mg}_4\text{Fe}^{3+})(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}\text{F}_2$	0,3489334	76	Melonite NiTe_2	0,35029
29	Meionite $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{CO}_3)$	0,3489899	77	Nefedovite $\text{Na}_5\text{Ca}_4(\text{PO}_4)_4\text{F}$	0,3502924
30	Krashennikovite $\text{KNa}_2\text{CaMg}(\text{SO}_4)_3\text{F}$	0,3490217	78	Kryachkoite $(\text{Al},\text{Cu})_6(\text{Fe},\text{Cu})$	0,3503789
31	Yarrowite Cu_9S_8	0,3490562	79	Potassic-fluoro-richterite $\text{K}(\text{NaCa})\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}\text{F}_2$	0,3504017
32	Petalite $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$	0,3490618	80	Seinajokite FeSb_2	0,3504132
33	Calvertite $\text{Cu}_5\text{Ge}_{0,5}\text{S}_4$	0,3491036	81	Langbeinite $\text{K}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$	0,3504271
34	Fluoro-pedrizite $\text{NaLi}_2(\text{Mg}_2\text{Al}_2\text{Li})\text{Si}_8\text{O}_{22}\text{F}_2$	0,349223	82	Fluorluanshiweite $\text{KLiAl}_{1,5}0,5(\text{Si}_{3,5}\text{Al}_{0,5})\text{O}_{10}\text{F}_2$	0,35052
35	Chrysoberyl BeAl_2O_4	0,3492248	83	Thermessaitite $\text{K}_2\text{AlF}_3(\text{SO}_4)$	0,3505294
36	Covellite CuS	0,3492902	84	Lomonosovite $\text{Na}_6\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{Na}_2\text{Ti}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{PO}_4)_2\text{O}_4$	0,3505653
37	Weissite Cu_{2-x}Te	0,3492923	85	Krotite Dmitryivanovite CaAl_2O_4	0,3505849
38	Czocharalskiite $\text{Na}_4\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{PO}_4)_4$	0,3493258	86	Patynite $\text{NaKCa}_4[\text{Si}_9\text{O}_{23}]$	0,3505915
39	Kazakovite $\text{Na}_6\text{Mn}^{2+}\text{TiSi}_6\text{O}_{18}$	0,3493559	87	Colusite $\text{Cu}_{13}\text{VAS}_3\text{S}_{16}$	0,3506039
40	Trattnerite $\text{Fe}^{3+}_2(\text{Mg}_3\text{Si}_{12})\text{O}_{30}$	0,3494061	88	Lautite CuAsS	0,3506146
41	Krinovite $\text{Na}_4[\text{Mg}_8\text{Cr}^{3+}_4]\text{O}_4[\text{Si}_{12}\text{O}_{36}]$	0,3494111	89	Osumilite $\text{KFe}_2(\text{Al}_5\text{Si}_{10})\text{O}_{30}$	0,350663
42	Renierite $(\text{Cu}^{1+},\text{Zn})_{11}\text{Fe}_4(\text{Ge}^{4+},\text{As}^{5+})_2\text{S}_{16}$	0,3494157	90	Sphalerite Wurtzite ZnS	0,3506719
43	Chukochenite LiAl_5O_8	0,3494327	91	Tennantite-(Fe) $\text{Cu}_6(\text{Cu}_4\text{Fe}_2)\text{As}_4\text{S}_{13}$	0,3507475
44	Naquite FeSi	0,349443	92	Qingheite $\text{Na}_2\text{MnMgAl}(\text{PO}_4)_3$	0,3507684
45	Germanite $\text{Cu}_{13}\text{Fe}_2\text{Ge}_2\text{S}_{16}$	0,3495708	93	Kawazulite $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$	0,3508477
46	Proxidecagonite $\text{Al}_{34}\text{Ni}_9\text{Fe}_2$	0,3495939	94	Argentopentlandite $\text{Ag}(\text{Fe},\text{Ni})_8\text{S}_8$	0,3509086
47	Isokite $\text{CaMg}(\text{PO}_4)\text{F}$	0,3496007	95	Jervisite $\text{NaSc}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$	0,3509718

Таблица 14. Минералы седьмого пакета (кубоид 7)

Table 14. Minerals of the seventh packet (cuboid 7)

Позиция	Минерал	I_{av}	Позиция	Минерал	I_{av}
0	—	—	48	Fluormayenite $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{32}[4\text{F}_2]$	0,3529544
1	Alumoakermanite $(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe}^{2+})(\text{Si}_2\text{O}_7)$	0,3509862	49	Emeleusite $\text{Na}_2\text{LiFe}^{3+}\text{Si}_6\text{O}_{15}$	0,3529808
2	Zincobriartite $\text{Cu}_2(\text{Zn},\text{Fe})(\text{Ge},\text{Ga})\text{S}_4$	0,3510241	50	Denisovite $\text{KCa}_2\text{Si}_3\text{O}_8\text{F}$	0,3531319
3	Qingheite-(Fe ²⁺) $\text{Na}_2\text{Fe}^{2+}\text{MgAl}(\text{PO}_4)_3$	0,3510383	51	Magnesiohögbonite-6N12S $\text{Mg}_5\text{Al}_{11}\text{TiO}_{23}(\text{OH})$	0,3531361
4	Carobbiite KF	0,3511233	52	Chlormayenite $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{32}[4\text{Cl}_2]$	0,3534175
5	Cryolithionite $\text{Na}_3\text{Al}_2(\text{LiF}_4)_3$	0,3512044	53	Sekaninaite $\text{Fe}^{2+}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$	0,3534603
6	Richardsite $\text{Zn}_2\text{CuGaS}_4$	0,3512151	54	Altisite $\text{Na}_3\text{K}_6\text{Ti}_2\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{26}\text{Cl}_3$	0,3535319



7	Tennantite-(Cu) $\text{Cu}_6(\text{Cu}_4\text{Cu}_2)\text{As}_4\text{S}_{13}$	0,3512241	55	Fluor-buergerite $\text{NaFe}^{3+}_3\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3\text{O}_3\text{F}$	0,3540141
8	Pigeonite $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ca})_2\text{Si}_2\text{O}_6$	0,3512317	56	Adrianite $\text{Ca}_{12}(\text{Al}_4\text{Mg}_3\text{Si}_7)\text{O}_{32}\text{Cl}_6$	0,3540311
9	Fluorotetraferriphlogopite $\text{KMg}_3\text{Fe}^{3+}\text{Si}_3\text{O}_{10}\text{F}_2$	0,3512731	57	Wadalite $\text{Ca}_6\text{Al}_5\text{Si}_2\text{O}_{16}\text{Cl}_3$	0,3540384
10	Decagonite $\text{Al}_{71}\text{Ni}_{24}\text{Fe}_5$	0,3512731	58	Fleetite $\text{Cu}_2\text{RhIrSb}_2$	0,3540802
11	Fluorite CaF_2	0,351302	59	Merwinite $\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$	0,3541457
12	Belomarinaite $\text{KNa}(\text{SO}_4)$	0,3513045	60	Ishiharaite $(\text{Cu}, \text{Ga}, \text{Fe}, \text{In}, \text{Zn})\text{S}$	0,3541648
13	Umbrianite $\text{K}_7\text{Na}_2\text{Ca}_2[\text{Al}_3\text{Si}_{10}\text{O}_{29}]\text{F}_2\text{Cl}_2$	0,3513081	61	Manaksite $\text{KNaMn}^{2+}\text{Si}_4\text{O}_{10}$	0,3541739
14	Delhayelite $\text{K}_7\text{Na}_3\text{Ca}_5\text{Al}_2\text{Si}_{14}\text{O}_{38}\text{F}_4\text{Cl}_2$	0,3513082	62	Wollastonite Pseudowollastonite Davemaoite CaSiO_3 Breyite $\text{Ca}_3\text{Si}_3\text{O}_9$	0,3542086
15	Tennantite-(Zn) $\text{Cu}_6(\text{Cu}_4\text{Zn}_2)\text{As}_4\text{S}_{13}$	0,3513753	63	Cuprostibite $\text{Cu}_2(\text{Sb}, \text{Ti})$	0,3542087
16	Phenakite $\text{Be}_2(\text{SiO}_4)$	0,3513813	64	Zirsinalite $\text{Na}_6\text{CaZrSi}_6\text{O}_{18}$	0,3542251
17	Zabuyelite $\text{Li}_2(\text{CO}_3)$	0,3513992	65	Coldwellite $\text{Pd}_3\text{Ag}_2\text{S}$	0,3542421
18	Buchwaldite $\text{NaCa}(\text{PO}_4)$	0,351431	66	Shuvalovite $\text{K}_2(\text{Ca}_2\text{Na})(\text{SO}_4)_3\text{F}$	0,3543002
19	Breithauptite NiSb	0,3515229	67	Aegirine-augite $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Fe}^{3+}, \text{Mg}, \text{Fe}^{2+})\text{Si}_2\text{O}_6$	0,3543325
20	Vavrinite Ni_2SbTe_2	0,3515679	68	Kurchatovite Clinokurchatovite CaMgB_2O_5	0,3543432
21	Ye'elimite $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{O}_{12}(\text{SO}_4)$	0,3515846	69	Natalyite $\text{NaV}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$	0,3543475
22	Grossular $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	0,3515881	70	Odintsovite $\text{K}_2\text{Na}_4\text{Ca}_3\text{Ti}_2\text{Be}_4\text{Si}_{12}\text{O}_{38}$	0,3543614
23	Butianite Ni_6SnS_2	0,3515946	71	Fenaksite $\text{KNaFe}^{2+}\text{Si}_4\text{O}_{10}$	0,3544734
24	Luzonite Enargite Cu_3AsS_4	0,3517467	72	Oxyphlogopite $\text{K}(\text{Mg}, \text{Ti}, \text{Fe})_3[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}](\text{O}, \text{F})_2$	0,3545979
25	Gallite CuGaS_2	0,3517481	73	Panethite $(\text{Na}, \text{Ca}, \text{K})_{1-x}$ $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn})\text{PO}_4$	0,3546299
26	Magnesioheptahydrite $\text{KNa}_2\text{Li}(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{24}$	0,35176	74	Chvilevaite $\text{Na}(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})_2\text{S}_2$	0,3546432
27	Danburite $\text{CaB}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	0,3518767	75	Aguilarite Ag_4SeS	0,3546558
28	Akermanite $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$	0,3519694	76	Knorringite $\text{Mg}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$	0,3546746
29	Leucophanite $\text{NaCaBeSi}_2\text{O}_6\text{F}$	0,3519739	77	Niter $\text{K}(\text{NO}_3)$	0,3547166
30	Davanite $\text{K}_2\text{TiSi}_6\text{O}_{15}$	0,3520354	78	Aphthitalite $\text{K}_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$	0,35473
31	Watanabeite $\text{Cu}_4(\text{As}, \text{Sb})_2\text{S}_5$	0,3520605	79	Amblygonite $\text{LiAl}(\text{PO}_4)\text{F}$	0,3549278
32	Gehlenite $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{SiAl})\text{O}_7$	0,3521202	80	Kosmochlor $\text{NaCr}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$	0,3549408
33	Shortite $\text{Na}_2\text{Ca}_2(\text{CO}_3)_3$	0,3521223	81	Merrillite $\text{Ca}_9\text{NaMg}(\text{PO}_4)_7$	0,3550281
34	Levanite $\text{KCa}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{PO}_4)$	0,3522928	82	Mangani-dellaventuraite $\text{NaNa}_2(\text{MgMn}^{3+}2\text{Ti}^{4+}\text{Li})\text{Si}_8\text{O}_{22}\text{O}_2$	0,3550692
35	Lisitsynite KBSi_2O_6	0,3522992	83	Anhydrite $\text{Ca}(\text{SO}_4)$	0,3551348
36	Spodumene Virgilite $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$	0,3523353	84	Mawsonite $\text{Cu}_6\text{Fe}_2\text{SnS}_8$	0,3552004
37	Natisite Paranasite $\text{Na}_2\text{TiO}(\text{SiO}_4)$	0,3523728	85	Polythionite $\text{KLi}_2\text{AlSi}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$	0,3553286
38	Nowackiite $\text{Cu}_6\text{Zn}_3\text{As}_4\text{S}_{12}$	0,3524013	86	Cuspidine $\text{Ca}_8(\text{Si}_2\text{O}_7)_2\text{F}_4$	0,3553525
39	Frohbergite FeTe_2	0,3524418	87	Lorenzenite $\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{O}_3(\text{Si}_2\text{O}_6)$	0,3553568
40	Sobolevite $\text{Na}_6(\text{Na}_2\text{Ca})(\text{NaCaMn})\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{Na}_2$ $(\text{TiMn})(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{PO}_4)_4\text{O}_2(\text{OF})\text{F}_2$	0,3524671	88	Stibiocolusite $\text{Cu}_{13}\text{V}(\text{Sb}, \text{Sn}, \text{As})_3\text{S}_{16}$	0,3553603
41	Johachidolite CaAlB_3O_7	0,3525868	89	Berezanskite $\text{KTi}_2\text{Li}_3\text{Si}_{12}\text{O}_{30}$	0,3553771
42	Anhydrokainite $\text{KMg}(\text{SO}_4)\text{Cl}$	0,3527387	90	Tuhualite $\text{NaFe}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{Si}_6\text{O}_{15}$	0,3554515
43	Avogadrite KBF_4	0,3527685	91	Ominelite $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_3\text{O}_2(\text{BO}_3)(\text{SiO}_4)$	0,3555144
44	Vinciennite $\text{Cu}_{10}\text{Fe}_4\text{SnAsS}_{16}$	0,3527689	92	Götzenite $\text{Ca}_4\text{NaCa}_2\text{Ti}(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{OF})\text{F}_2$	0,3555158
45	Trilithionite $\text{KLi}_{1.5}\text{Al}_{10.5}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}\text{F}_2$	0,3527979	93	Icosahedrite $\text{Al}_{63}\text{Cu}_{24}\text{Fe}_{13}$	0,3556283
46	Rhönite $\text{Ca}_4[\text{Mg}_8\text{Fe}^{3+}_2\text{Ti}_2]\text{O}_4[\text{Si}_6\text{Al}_6\text{O}_{36}]$	0,3528201	94	Rouvilleite $\text{Na}_3\text{CaMn}^{2+}(\text{CO}_3)_3\text{F}$	0,355691
47	Sinnerite $\text{Cu}_6\text{As}_4\text{S}_9$	0,3528797	95	Eucryptite LiAlSiO_4	0,3557716



Таблица 15. Минералы восьмого пакета (кубоид 8)
Table 15. Minerals of the eighth packet (cuboid 8)

Пози- ция	Минерал	I_{av}	Пози- ция	Минерал	I_{av}
0	–	–	48	Hurlbutite $\text{CaBe}_2(\text{PO}_4)_2$	0,3578475
1	Roterbarite PdCuBiSe_3	0,3558199	49	Calciborite CaB_2O_4	0,3578499
2	Keplerite $\text{Ca}_9(\text{Ca}_{0.5} \text{ }_{0.5})\text{Mg}(\text{PO}_4)_7$	0,3558224	50	Moissanite SiC	0,3578598
3	Bredigite $\text{Ca}_7\text{Mg}(\text{SiO}_4)_4$	0,3558416	51	Anorpiment Orpiment As_2S_3	0,3578794
4	Colquiriite CaLiAlF_6	0,3558437	52	Wyllieite $\text{NaNaMn}(\text{Fe}^{2+}\text{Al})(\text{PO}_4)_3$	0,357991
5	Merrihueite $(\text{K},\text{Na})_2(\text{Fe}^{2+},\text{Mg})_5\text{Si}_{12}\text{O}_{30}$	0,3559373	53	Maghagendorfite $\text{Na}_2\text{MgFe}^{2+}\text{Fe}^{3+}(\text{PO}_4)_3$	0,3580225
6	Cervelleite Ag_4TeS	0,3560236	54	Thortveitite $\text{Sc}_2\text{Si}_2\text{O}_7$	0,3580381
7	Nakkaalaaqite $\text{K}_2[\text{Na}_3\text{Ca}]\text{LiCa}_2\text{Ti}_2\text{B}$ $\text{e}_4\text{Si}_{12}\text{O}_{38}$	0,3560946	55	Alacranite As_8S_9	0,3580587
8	Arsenotučekite $\text{Ni}_{18}\text{Sb}_3\text{AsS}_{16}$	0,356153	56	Jasmundite $\text{Ca}_{11}\text{O}_2(\text{SiO}_4)_4\text{S}$	0,3581031
9	Rankinite $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ Kilchoanite $\text{Ca}_6(\text{SiO}_4)(\text{Si}_3\text{O}_{10})$	0,3561702	57	Uzonite As_4S_5	0,3581167
10	Fluorellestadite $\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_{1.5}(\text{SO}_4)_{1.5}\text{F}$	0,3562838	58	Ferro-fluoro-pedrizite $\text{NaLi}_2(\text{Fe}^{2+}_2\text{Al}_2\text{Li})\text{Si}_8\text{O}_{22}\text{F}_2$	0,3581469
11	Calciolangbeinite $\text{K}_2\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3$	0,3562981	59	Ferrisanidine $\text{K}(\text{Fe}^{3+}\text{Si}_3\text{O}_8)$	0,3581755
12	Oxo-magnesio-hastingsite $\text{NaCa}_2(\text{Mg}_2\text{Fe}^{3+}_3)(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}\text{O}_2$	0,3563066	60	Telluronevskite Bi_3TeSe_2	0,3581985
13	Davisite CaScAlSiO_6	0,3563485	61	Cupalite CuAl Stolperite AlCu	0,3582589
14	Kumtyubeite $\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_2\text{F}_2$	0,3563962	62	Paqueite $\text{Ca}_3\text{TiSi}_2(\text{Al},\text{Ti},\text{Si})_3\text{O}_{14}$	0,3583418
15	Rondorfite $\text{Ca}_8\text{Mg}(\text{SiO}_4)_4\text{Cl}_2$	0,3564491	63	Brenkite $\text{Ca}_2(\text{CO}_3)\text{F}_2$	0,3584807
16	Pavlovskyite $\text{Ca}_8(\text{SiO}_4)_2(\text{Si}_3\text{O}_{10})$	0,3564567	64	Dellagiustaitite $\text{V}^{2+}\text{Al}_2\text{O}_4$	0,358517
17	Florensovite $\text{Cu}(\text{Cr}_{1.5}\text{Sb}_{0.5})\text{S}_4$	0,3565103	65	Udinaite $\text{NaMg}_4(\text{VO}_4)_3$	0,3585541
18	Bohdanowiczite AgBiSe_2	0,3565121	66	Gugiaite $\text{Ca}_2\text{BeSi}_2\text{O}_7$	0,35857
19	Fluorapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$	0,3565553	67	Matyhyte $\text{Ca}_9(\text{Ca}_{0.5} \text{ }_{0.5})\text{Fe}^{2+}(\text{PO}_4)_7$	0,358575
20	Titanoholtite $(\text{Ti}_{0.75} \text{ }_{0.25})\text{Al}_6\text{BSi}_3\text{O}_{18}$	0,3565557	68	Pretulite $\text{Sc}(\text{PO}_4)$	0,3585752
21	Dimorphite As_4S_3	0,3565588	69	Galuskinite $\text{Ca}_7(\text{SiO}_4)_3(\text{CO}_3)$	0,3586057
22	Sugilite $\text{KNa}_2\text{Fe}^{3+}_2(\text{Li}_3\text{Si}_{12})\text{O}_{30}$	0,3565723	70	Tilleyite $\text{Ca}_5\text{Si}_2\text{O}_7(\text{CO}_3)_2$	0,3586156
23	Namansilite $\text{NaMn}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$	0,3565805	71	Herderite $\text{CaBe}(\text{PO}_4)\text{F}$	0,3587138
24	Fluorchegemite $\text{Ca}_7(\text{SiO}_4)_3\text{F}_2$	0,3566902	72	Tueckite $\text{Ni}_9\text{Sb}_2\text{S}_8$	0,3587214
25	Kanoite $\text{MnMgSi}_2\text{O}_6$	0,3566935	73	Okayamalite $\text{Ca}_2\text{B}_2\text{SiO}_7$	0,3587592
26	Rusinovite $\text{Ca}_{10}(\text{Si}_2\text{O}_7)_3\text{Cl}_2$	0,356697	74	Calcite Vaterite Aragonite $\text{Ca}(\text{CO}_3)$	0,3587623
27	Dalnégorskite $\text{Ca}_5\text{Mn}(\text{Si}_3\text{O}_9)_2$	0,3567386	75	Baratovite $\text{KLi}_3\text{Ca}_7\text{Ti}_2(\text{SiO}_3)_{12}\text{F}_2$	0,3587807
28	Edgrewite $\text{Ca}_9(\text{SiO}_4)_4\text{F}_2$	0,3568486	76	Hatruite Ca_3SiO_5	0,3587843
29	Flamite $\text{Ca}_{8-x}(\text{Na},\text{K})_x(\text{SiO}_4)_{4-x}(\text{PO}_4)_x$	0,3568664	77	Saranchinaite $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2$	0,3588537
30	Tuite $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	0,3568778	78	Spurrite $\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_2(\text{CO}_3)$	0,3589489
31	Ternesite $\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_2(\text{SO}_4)$	0,3569012	79	Tsnigriite $\text{Ag}_9\text{SbTe}_3\text{S}_3$	0,3591139
32	Aegirine $\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$	0,3570787	80	Warkite $\text{Ca}_2\text{Sc}_6\text{Al}_6\text{O}_{20}$	0,3592244
33	Silicocarnotite $\text{Ca}_5[(\text{PO}_4)(\text{SiO}_4)](\text{PO}_4)$ Tsangpoite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_2(\text{SiO}_4)$	0,3570855	81	Rosemaryite $\text{NaMn}^{2+}(\text{Fe}^{3+}\text{Al})(\text{PO}_4)_3$	0,3592704
34	Khatyrkite CuAl_2	0,3571105	82	Neptunite $\text{KNa}_2\text{LiFe}^{2+}_2\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{24}$	0,3593333
35	Nagelschmidtite $\text{Ca}_7(\text{SiO}_4)_2(\text{PO}_4)_2$	0,3571752	83	Burnettite CaVAISiO_6	0,3593559
36	Chlorellestadite $\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_{1.5}(\text{SO}_4)_{1.5}\text{Cl}$	0,3571856	84	Ferro-ferri-obertiite $\text{NaNa}_2(\text{Fe}^{2+}_3\text{Fe}^{3+}\text{Ti})\text{Si}_8\text{O}_{22}\text{O}_2$	0,3594081
37	Goryainovite $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)\text{Cl}$	0,3573693	85	Eckermannite $\text{NaNa}_2(\text{Mg}_4\text{Al})\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	0,3594784
38	Calcio-olivine Larnite $\text{Ca}_2(\text{SiO}_4)$	0,3573881	86	Nekrasovite $\text{Cu}_{13}\text{VSn}_3\text{S}_{16}$	0,3595218
39	Chlorapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$	0,3574078	87	Oxo-mangani-leakeite $\text{NaNa}_2(\text{Mn}^{3+}_4\text{Li})\text{Si}_8\text{O}_{22}\text{O}_2$	0,359684



40	Arcanite $K_2(SO_4)$	0,3575114	88	Sudovikovite $PtSe_2$	0,3598099
41	Nabimusaite $KCa_{12}(SiO_4)_4(SO_4)_2O_2F$	0,3575498	89	Hutcheonite $Ca_3Ti_2(SiAl_2)O_{12}$	0,3598233
42	Zhanghuifenite $Na_3Mn^{2+}_4Mg_2Al(PO_4)_6$	0,3576615	90	Watatsumiite $LiNa_2KMn_2V_2Si_8O_{24}$	0,3599183
43	Stannoidite $Cu_8(Fe,Zn)_3Sn_2S_{12}$	0,3577296	91	Cumingtonite $Mg_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$	0,3599719
44	Grossmanite $Ca(Ti^{3+}, Mg, Ti^{4+})AlSiO_6$	0,3578051	92	Johnsomervilleite $Na_{10}Ca_6Mg_{18}Fe^{2+}_{25}(PO_4)_{36}$	0,3599956
45	Ferromerrillite $Ca_9NaFe^{2+}(PO_4)_7$	0,3578066	93	Rubinite $Ca_3Ti^{3+}_2Si_3O_{12}$	0,3600018
46	Realgar AsS Bonazziite Pararealgar As_4S_4	0,3578257	94	Gedrite $Mg_2(Mg_3Al_2)(Si_6Al_2)O_{22}(OH)_2$	0,3601947
47	Oulankaite $Pd_5Cu_4SnTe_2S_2$	0,357838	95	Glaucophane $Na_2(Mg_3Al_2)Si_8O_{22}(OH)_2$	0,3602481

При таких условиях миграция химических элементов возможна в любой из объемов модели как в пределах кубоида, так и в другой кубоид. В последнем случае возможно существенное увеличение мигрирующих масс за счет внешнего источника. Остается открытым вопрос о количественных различиях при миграции в случае смежности элементарных объемов по грани или ребру, что соответствует контактам объемов «грань к грани», «ребро к ребру» и «вершина к вершине».

Миграция химических элементов может быть связана с пространственными объемами криптона и технеция, а также ксенона. Эти объемы предлагается называть соответственно криптоновым и ксеноновым туннелями. Существование ксенонового туннеля 7-й пространственной группы углерода, возможно, проявляется в эксплозивных процессах при образовании алмазов.

Остановимся на этом показательном примере. Основной изоморфной примесью в природных алмазах является азот, в меньшей мере водород, никель, кремний, редко бор [12–14]. Если упрощенно рассматривать изоморфизм только с точки зрения близости расположения химических элементов в объемной модели, можно отметить, что большинство из них, за исключением никеля и кремния, располагаются в смежных относительно углерода пространственных группах. Это, согласно принятым выше условиям миграции, обеспечивает их естественное перемещение в пространственную группу углерода. Никель и кремний с принятых позиций могут мигрировать в эту группу по газовым туннелям миграции.

Показательны также обычно встречающиеся в алмазах примеси газов He, Ar, Ne, Xe,

H_2 , N_2 , CO, CO_2 , H_2O , CH_4 [15]. Если не брать во внимание последние три примеси из перечисленных, то все они также располагаются в смежных относительно углерода пространственных группах. При этом для последних двух еще нет информации по их позиции в кубоиде, а CO_2 располагается в 14-й пространственной группе, смежной относительно 11-й пространственной группы с CO. Показательно также отсутствие среди примесей криптона, который располагается в 5-й пространственной группе, относительно «изолированной» от 7-й пространственной группы с углеродом в сравнении с рассмотренными пространственными группами.

Вероятно, правильнее говорить о ксеноно-радоновом туннеле, в котором газы, очевидно, находятся под давлением. Этот туннель окружен газами водородного туннеля, которые в пространственном отношении перечисляем от гелия до неона: гелий, водород, вакансия, азот, кислород, фтор, неон. Позиции этих газов можно учитывать в структуре ксеноно-радонового туннеля.

Из состава первых восьми пакетов (кубоидов) были рассмотрены некоторые распространенные минералы с определением возможных путей миграции химических элементов для их образования (табл. 16).

Позиция минералов указана в виде номера пространственной группы, индекса его «материнского» химического элемента и позиции в группе. Химические элементы в таблице приведены в порядке их перечисления в формуле минералов. Восклицательным знаком указано начало миграции по криптоновому туннелю. Направление движения показано слева направо от объемного положения



Таблица 16. Миграционные пути химических элементов при образовании минералов
Table 16. Migration paths of chemical elements under mineral formation

Минерал и его позиция в группе	Химическая формула	Химический элемент из состава минерала	
		1	2
Sylvite 9Cr2	KCl	4K2-3-2-(1)-8-9Cr2 t4K2-1-8-(9)-t9Cr2	2Cl2-(1)-8-9Cr2 t2Cl2-(1)-8-t!5-11-10-9Cr2
Halite 13Os5	NaCl	12Na1-13Os5 t12Na1-t9O1-10-11-13Os5	2Cl2-1-8-(9)-10-11-13Os5 t2Cl2-3-(4)-t13Os5
Corundum 13Os5	Al ₂ O ₃	14Al1-13Os5 t14Al1-t(3)-2-(1)-8-(9)-10-11-13Os5	9O1-10-11-13Os5 t9O1-t13Os5
Pyrite 13U6	FeS ₂	11Fe2-13U6 t11Fe2-10-(9)-8-(1)-2-3-t13U6 t11Fe2-10-9-t13U6	1S2-8-(9)-10-11-13U6 t1S2-t13U6 t1S2-t!5-12-13U6
Quartz 9O1	SiO ₂	15Si1-9O1 t15Si1-t(2)-(1)-8-9O1	9O1-9O1 t9O1-t!12-11-10-9O1
Pyrrhotite 6Sc2	Fe ₇ S ₈	11Fe2-6Sc2 t11Fe2-10-9-t!12-(5)-6Sc2	1S2-2-(3)-6Sc2 1S2-8-(9)-10-(11)-6Sc2 t1S2-t!5- 6Sc2
Sphalerite 11Th6	ZnS	15Zn2-(10)-11Th6 t15Zn2-9-t!12-11Th6	1S2-8-(9)-10-11Th6 t1S2-8-t!5-(12)-11Th6
Fluorite 12Na1	CaF ₂	5Ca2-12Na1 t5Ca2-t8-(9)-10-11-12Na1	10F1-11-12Na1 t10F1-9-t!12Na1

химического элемента из состава минерала до позиции данного минерала (его материнского химического элемента). Первое t перед позицией мигрирующего химического элемента указывает на трансляционную миграцию из смежного кубоида, второе t определяет позицию входа миграционного потока в рассматриваемый кубоид.

Объем технеция принимаем как проникаемый и сопоставимый по этому свойству с объемами газов и включаем его в состав криптонового туннеля. Это предполагается в связи с тем, что позиция кварца 9O1 в модели дает возможности привноса кислорода из смежных кубов по кратчайшему пути только с учетом криптонового туннеля с объемом технеция. По криптоновому туннелю с объемом технеция «улучшаются» возможности миграции элементов 11-й пространственной группы (Fe, Mo, Se, W и Th). При принятых условиях миграции для формирования распространенных минералов оказываются возможными короткие миграционные пути, в том числе при миграции из смежных кубоидов.

Обсуждение объемной модели. Объемные позиции в рассмотренной модели могут занимать химические элементы, минералы и горные породы. При этом любая горная порода по позиции в модели соответствует опреде-

ленному минералу, по названию которого она и должна получить свое новое название. Предстоит выяснить закономерности совмещения в пространстве минералов (горных пород) разных пакетов, в данной работе они не рассматриваются, как не рассматриваются и причины миграции химических элементов.

Объемная модель обладает свойством хиральности. По предварительной информации в земной коре реализован только разворот пространственных групп вправо после 4-й пространственной группы в направлении 5-й, а не влево. Возможность существования в земной коре левого варианта кубоида требует проверки. Такая проверка может быть проведена на нескольких структурных уровнях.

На микроуровне возможно наблюдение взаимного расположения минералов из первых восьми пакетов, но при этом плоскости шлифов должны быть ориентированы в пространстве без их зеркального отражения относительно исходного залегания. При отражении порядок следования зерен минералов может подтвердить проявление объемной модели, но без возможности ее спецификации как правой или левой. На уровне рудных тел и месторождений для различения типа модели уже возможно рассмотрение позиций минералов первых восьми пакетов. Например, уста-



новлены позиции в объемной модели для самородной меди, халькопирита, талнахита, борнита и кубанита.

Маркерами в объемных моделях могут быть вакансии, в качестве которых предполагаются вулканы, пещеры, карстовые депрессии, ядра диапировых складок и др. Информация об объемной модели может быть также получена при анализе взаимного расположения вулканов, угленосных отложений, известняков и доломитов. Вакансии могут быть выявлены и при анализе геофизических данных, например связанных с тепловыми потоками покмарков [16, 17].

По взаимному расположению некоторых месторождений сделана попытка определить тип модели как правый или левый. Правый тип объемной модели предположительно проявляется во взаимном расположении некоторых месторождений полезных ископаемых Норвегии и Швеции⁵. В Норвегии характерно взаимное расположение месторождений доломитов, известняков, кварцитов и нефелиновых сиенитов: 1019, доломит, Logavlen – 1044, известняк, Dalen – 1096, кварцит, Kragerø – 1069, нефелин (сиенит), Stjernøy (приведены номера позиций, полезные ископаемые и названия месторождений (локация)). Эти объекты можно связать с пространственными группами 7, 11, 9, 1. В Швеции в аналогичном аспекте предлагается рассмотреть месторождения кианита, полевого шпата и серебра: 1583, кианит, Halskoberg – 1563, полевой шпат, Riddarhyttan – 1605, серебро: металл, Ammeberg.

Аналитиком Е.А. Черной были обработаны результаты химических анализов анортозитов северо-востока штата Нью-Йорк [18]. Выяснено, что изученные анортозиты представляют собой разные породы пятого пакета. Пробы АА-164, АА-194 и АВМ-58 соотносятся с первыми позициями пакетов 10, 8 и 1 (из смежного кубоида) и указывают на правый тип объемной модели. Тем не менее встречаемость в природе объемных моделей правого и левого типа требует изучения, которое осложняется тем, что в элементарных объемах модели могут быть проявлены кубоиды меньшего размера, скорее всего, с фракталь-

ным характером взаимоотношений. Каждый элементарный объем может представлять из себя кубоид другого порядка.

Отдельного внимания заслуживает вакансия – возможный нулевой химический элемент, отсутствующий в Периодической таблице химических элементов Д.И. Менделеева. В дальнейшем расчетами показателя многомерной пропорциональности для 1-й пространственной группы может быть проверена возможность того, что нулевым химическим элементом является нейтронное вещество, как это предполагается в современной науке [18–21].

Заключение

Таким образом, на основании результатов проведенного исследования можно заключить, что горные породы и минералы по возрастанию ПМПВ химических элементов, входящих в их состав, располагаются в объемной модели аналогично химическим элементам, позиционированным по возрастанию атомных весов. Анализ системных свойств кубоида указывает на важное значение вертикальных пространственных групп химических элементов и их разделение на S- и G-типы.

Предполагается, что земную кору можно разделить на иерархически «вложенные» друг в друга кубоиды в сочетании с тем, что все пространство можно представить в виде кубоидов близкого размера. По результатам позиционирования 760 минералов в ходе проведенной работы сделана первая попытка представить кубоид во временном измерении. При этом удалось наметить важную роль газовых туннелей миграции химических элементов в земной коре.

Предложена новая парадигма геологических исследований, заключающаяся в позиционировании минералов и горных пород в объемной модели с возможностью определения путей миграции входящих в их состав химических элементов. Многомерная пропорциональность атомных масс, возможно, является более фундаментальной характеристикой минералов и горных пород, чем их химический состав.

⁵ Almanzar F., Baker M., Elias N., Guzman E. Mineral facilities of Europe: open-file report 2010–1257 [Электронный ресурс]. URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2010/1257/> (10.11.2022).



Список источников

1. Labarca M. An element of atomic number zero? // *New Journal of Chemistry*. 2016. Vol. 40. Iss. 11. P. 9002–9006. <https://doi.org/10.1039/C6NJ02076C>.
2. Шило Н.А., Дринков А.В. Фенотипическая система атомов в развитие идей Д.И. Менделеева // *Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН*. 2007. № 1. С. 89–98.
3. Гусев Б.В., Сперанский А.А., Шалимов Л.Н., Волкова Ю.В. Матричное представление периодичности системы химических элементов // *Русский инженер*. 2018. № 4. С. 52–57.
4. Лабушев М.М., Лабушев Т.М. Объемная модель периодической системы химических элементов в геологическом аспекте // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2020. № 1. С. 36–47. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-1-36-47>.
5. Лабушев М.М. О предельно возможном числе минералов, неорганических и органических химических соединений // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии*. 2008. Т. 1. № 3. С. 221–233.
6. Labushev M.M., Khokhlov A.N. Relative dating and classification of minerals and rocks based on statistical calculations related to their potential energy index [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1212/1212.2628.pdf> (13.12.2022).
7. Лабушев М.М. От параметрического классифицирования минералов и горных пород к общему решению проблемы классифицирования вещества по химическому составу // *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии*. 2017. Т. 15. № 2. С. 47–58.
8. Лабушев М.М. Бинарные массы земной коры и биосферы // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2018. Т. 329. № 1. С. 37–43.
9. Бажин В.Ю., Александрова Т.А., Котова Е.Л., Суслов А.П. Современный взгляд на аномалии в группах металлов Периодической системы Д.И. Менделеева // *Записки Горного института*. 2019. Т. 239. С. 520–527. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.5.520>.
10. Княжин С.Л., Коровкин В.В. «Странные» валентности химических элементов в минералах как показатель апейронного синтеза и транссинтеза // *Уральский геологический журнал*. 2006. № 4. С. 171–177.
11. Сироткин О.С., Сироткин Р.О. О границе применимости понятия «валентность» в рамках единой теории строения химических соединений и объединяющей их системы // *Вестник технологического университета*. 2018. Т. 21. № 6. С. 13–18.
12. Шацкий В.С., Надолинный В.А., Юрьева О.П., Рахманова М.И., Комаровских А.Ю. Особенности примесного состава алмазов из россыпей Северо-Востока Сибирского кратона // *Доклады Академии наук*. 2019. Т. 486. № 4. С. 466–468. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524864466-468>.
13. Gaillou E., Post J.E., Rost D., Butler J.E. Boron in natural type IIb blue diamonds: chemical and spectroscopic measurements // *American Mineralogist*. 2012. Vol. 97. Iss. 1. P. 1–18. <https://doi.org/10.2138/am.2012.3925>.
14. The properties of natural and synthetic diamond / ed. J.E. Field. London: Academic Press, 1992. 710 p.
15. Третьякова Л.И., Люхин А.М. Примесные, дефектные центры и включения в природных алмазах – характеристики космогенно-импактно-метаморфогенно-метасоматической истории их генезиса // *Уральский геологический журнал*. 2017. № 3. С. 43–73.
16. Макаров Д.В., Холмогоров А.О., Шакиров Р.Б. Влияние покмарков на распространение низкочастотного звука в мелком море // *Подводные исследования и робототехника*. 2021. № 4. С. 60–71. https://doi.org/10.37102/1992-4429_2021_38_04_06.
17. Рыбак Е.Н., Ступина Л.В. Покмарки Черного моря // *Геологія і корисні копалини Світового океану*. 2019. Т. 15. № 2. С. 16–34. <https://doi.org/10.15407/gpimo.2019.01.016>.
18. Seifert K.E., Dymek R.F., Whitney P.R., Haskin L.A. Geochemistry of massif anorthosite and associated rocks, Adirondack Mountains, New York // *Geosphere*. 2010. Vol. 6. Iss. 6. P. 855–899. <https://doi.org/10.1130/GES00550.1>.
19. Золотов Ю.А. Периодический закон химических элементов: 150 лет развития // *Вестник Российской академии наук*. 2020. Т. 90. № 4. С. 305–311. <https://doi.org/10.31857/S0869587320040180>.
20. Саркисов Ю.С., Горленко Н.П. Развитие представлений о структуре таблицы химических элементов Д.И. Менделеева // *Вестник Томского государственного университета. Химия*. 2020. № 17. С. 69–73. <https://doi.org/10.17223/24135542/17/5>.
21. Stewart P.J. A century on from Dmitrii Mendeleev: tables and spirals, noble gases and Nobel prizes // *Foundations of Chemistry*. 2007. Vol. 9. P. 235–245. <https://doi.org/10.1007/s10698-007-9038-x>.

References

1. Labarca M. An element of atomic number zero? *New Journal of Chemistry*. 2016;40(11):9002-9006. <https://doi.org/10.1039/C6NJ02076C>.
2. Shilo N.A., Drinkov A.V. A phenotypic atomic system as extending the ideas of D.I. Mendeleev. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN = Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch*. 2007;1:89-98. (In Russ.).
3. Gusev B.V., Speranskiy A.A., Shalimov L.N., Volkova Y.V. Matrix representation of periodicity of the chemical elements system. *Russkii inzhener = Russian Engineer*. 2018;4:52-57. (In Russ.).
4. Labushev M.M., Labushev T.M. The periodic system of chemical elements solid model in the geological aspect. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2020;1:36-47. (In Russ.).



<https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-1-36-47>.

5. Labushev M.M. About limit numbers of minerals, inorganic and organic chemical compounds. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tehnologii = Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2008;1(3):221-233. (In Russ.).

6. Labushev M.M., Khokhlov A.N. Relative dating and classification of minerals and rocks based on statistical calculations related to their potential energy index. Available from: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1212/1212.2628.pdf> [Accessed 13th December 2022].

7. Labushev M.M. From parametric classifying of minerals and rocks to general solution of the problem of chemical classifying of matters. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Informatsionnye tehnologii = Vestnik NSU. Series: Information Technologies*. 2017; 15(2):47-58. (In Russ.).

8. Labushev M.M. Binary masses of the earth crust and biosphere. *Izvestiya Tomskogo politekh-nicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2018;329 (1):37-43. (In Russ.).

9. Bazhin V.Y., Aleksandrova T.A., Kotova E.L., Suslov A.P. A modern view of anomalies in the metal groups of the Periodic system of D.I. Mendeleev. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 2019;239:520-527. (In Russ.). <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.5.520>.

10. Kniagin S.L., Korovkin V.V. The strange valency of the chemical elements in the minerals – how index apheironic synthesis and transsynthesis. *Ural'skii geologicheskii zhurnal = Uralian Geological Journal*. 2006;4:171-177. (In Russ.).

11. Sirotkin O.S., Sirotkin R.O. On the limits of the "valence" term applicability within the unified theory of the structure of chemical compounds and of the system unifying them. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Technological University*. 2018;21(6):13-18. (In Russ.).

12. Shatsky V.S., Nadolnny V.A., Yuryeva O.P., Rakhmanova M.I., Komarovskikh A.Y. Features of the impurity composition of diamonds from placers of the northeastern Siberian craton. *Doklady Akademii nauk*. 2019;486(4):466-

468. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0869-56524864466-468>.

13. Gaillou E., Post J.E., Rost D., Butler J.E. Boron in natural type IIb blue diamonds: chemical and spectroscopic measurements. *American Mineralogist*. 2012;97(1):1-18. <https://doi.org/10.2138/am.2012.3925>.

14. Field J.E. The properties of natural and synthetic diamond. London: Academic Press; 1992. 710 p.

15. Tretiakova L.I., Lyukhin A.M. Impurity, defect centres and inclusions in diamonds are characteristics of cosmic-impact-metamorphic-metacomatic history of natural diamond genesis. *Ural'skii geologicheskii zhurnal = Uralian Geological Journal*. 2017;3:43-73. (In Russ.).

16. Makarov D.V., Kholmogorov A.O., Shakirov R.B. Influence of pockmarks on propagation of low-frequency sound in a shallow sea. *Podvodnye issledovaniya i robototekhnika = Underwater Investigation and Robotics*. 2021; 4:60-71. (In Russ.). https://doi.org/10.37102/1992-4429_2021_38_04_06.

17. Rybak E.N., Stupina L.V. Black Sea pockmarks. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana*. 2019;15(2):16-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.15407/gpimo.2019.01.016>.

18. Seifert K.E., Dymek R.F., Whitney P.R., Haskin L.A. Geochemistry of massif anorthosite and associated rocks, Adirondack Mountains, New York. *Geosphere*. 2010; 6(6):855-899. <https://doi.org/10.1130/GES00550.1>.

19. Zolotov Y.A. Evolution of chemical analysis methods. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*. 2020;90(4):305-311. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0869587320040180>.

20. Sarkisov Y.S., Gorlenko N.P. Development of ideas about the structure of the table of chemical elements D.I. Mendeleev. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Khimiya = Tomsk State University Journal of Chemistry*. 2020;17:69-73. (In Russ.). <https://doi.org/10.17223/24135542/17/5>.

21. Stewart P.J. A century on from Dmitrii Mendeleev: tables and spirals, noble gases and Nobel prizes. *Foundations of Chemistry*. 2007;9:235-245. <https://doi.org/10.1007/s10698-007-9038-x>.

Информация об авторах / Information about the authors

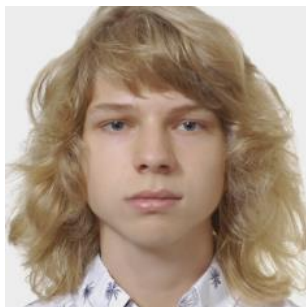


Лабушев Михаил Михайлович,

кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
доцент кафедры геологии месторождений и методики разведки,
Институт горного дела, геологии и геотехнологий,
Сибирский федеральный университет,
г. Красноярск, Россия,
✉ mlabushev@yandex.ru

Mikhail M. Labushev,

Cand. Sci. (Geol. & Mineral.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Field Geology and Exploration Methods,
School of Mining, Geology and Geotechnology,
Siberian Federal University,
Krasnoyarsk, Russia,
✉ mlabushev@yandex.ru



Лабушев Тимофей Михайлович,
студент,
Национальный исследовательский университет ИТМО,
г. Санкт-Петербург, Россия,
tim.labushev@gmail.com
Timofei M. Labushev,
Student,
ITMO University,
Saint Petersburg, Russia,
tim.labushev@gmail.com



Хохлов Александр Николаевич,
главный геолог,
ООО «Геоэкономика»,
г. Красноярск, Россия,
hohlow@krasfond.ru
Aleksandr N. Khokhlov,
Chief Geologist,
Goeconomics LLC,
Krasnoyarsk, Russia,
hohlow@krasfond.ru

Вклад авторов / Contribution of the authors

Лабушев М.М. принимал участие в написании подразделов «Описание кубоида химических элементов, минералов и горных пород», «Системные свойства кубоида в свете свойств химических элементов», «Позиционирование минералов в объемной модели», а также написал подразделы «Миграция химических элементов в объемной модели», «Обсуждение объемной модели». Лабушев Т.М. принимал участие в написании подраздела «Позиционирование минералов в объемной модели». Хохлов А.Н. принимал участие в написании подразделов «Описание кубоида химических элементов, минералов и горных пород», «Системные свойства кубоида в свете свойств химических элементов».

Labushev M.M. contributed to the subsections "Description of the cuboid of chemical elements, minerals and rocks", "System properties of the cuboid in terms of chemical element properties", "Mineral positioning in a three-dimensional model", and also developed the subsections "Migration of chemical elements in a three-dimensional model", "3D Model Discussion". Labushev T.M. contributed to the subsection "Positioning of minerals in a three-dimensional model". Khokhlov A.N. took part in working out the subsections "Description of the cuboid of chemical elements, minerals and rocks", "System properties of the cuboid in terms of chemical element properties".

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.
The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 22.11.2022; одобрена после рецензирования 06.02.2023; принята к публикации 10.03.2023.

The article was submitted 22.11.2022; approved after reviewing 06.02.2023; accepted for publication 10.03.2023.