

УДК 552:549.902:548.3

ХИМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ АМОРФНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД**¹Мелконян Р.Г., ²Шабельская Н.П., ²Миуц Е.В.**¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС», Москва;²ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», Новочеркасск, e-mail: nina_shabelskaya@mail.ru

В работе представлена химическая классификация аморфных горных пород, в первую очередь вулканического и осадочного происхождения. Подробно рассмотрены понятия «твердый раствор», «химическое соединение» с точки зрения кристаллохимии. Показано, что возможны четыре варианта упорядочения замещающих атомов в твердом растворе: вероятностное, упорядоченность ближнего и дальнего порядка, полностью упорядоченное. Приведена классификация горных пород по генезису – вулканические и метаморфические. Дана характеристика горных пород – обсидиана и перлита, приведены отличительные особенности вулканических стекол. Показано, что образование перлитов возможно как при полной или частичной гидратации обсидиана, так и в результате прямого остывания вулканической стеклообразной лавы. Такие перлиты называют «первичными». Они обладают наиболее востребованными высокими технологическими свойствами. Выделено, что применение перлитов напрямую связано с их происхождением, которое, в свою очередь, определяет физико-химические и минералогические особенности горных пород. В первую очередь речь идет о степени пористости структуры, виде и распределении областей кристаллических включений. Обсуждены неметаллические системы – минералы, стекла, полупроводники, ферриты с точки зрения образования в них твердых растворов. Предложено разделение ряда горных пород по принципу образуемых ими дисперсных систем. В качестве примера аморфная горная порода – перлит рассмотрена с точки зрения связнодисперсной системы. Показана общность между искусственными композиционными материалами и перлитом. Сделано заключение, что эта горная порода может быть рассмотрена как твердый раствор с твердой дисперсной фазой и твердой дисперсионной средой.

Ключевые слова: вулканические горные породы, осадочные горные породы, перлит, классификация, связнодисперсная система, твердый раствор

CHEMICAL CLASSIFICATION OF AMORPHOUS ROCKS**¹Melkonyan R.G., ²Shabelskaya N.P., ²Miyutz E.V.**¹National University of Science and Technology, Moscow;²Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, e-mail: nina_shabelskaya@mail.ru

The paper presents the chemical classification of amorphous rocks, primarily of volcanic and sedimentary origin. The concepts of «solid solution», «chemical compound» from the point of view of crystal chemistry are considered in detail. It is shown that four variants of the order of the substituting atoms in the solid solution are possible: probabilistic, near and far order, fully ordered. The classification of rocks by Genesis – volcanic and metamorphic. The characteristic of rocks – obsidian and perlite-is given, distinctive features of volcanic glasses are given. It is shown that the formation of perlites is possible both at full or partial hydration of obsidian and as a result of direct cooling of volcanic glass-like lava. Such perlites are called «primary». They have the most popular high technological properties. It is emphasized that the use of perlite is directly related to their origin, which, in turn, determines the physical, chemical and mineralogical features of rocks. First of all, we are talking about the degree of porosity of the structure, the form and distribution of the areas of crystalline inclusions. Non – metallic systems-minerals, glasses, semiconductors, ferrites in terms of formation of solid solutions in them are discussed. The separation of a number of rocks on the basis of the dispersion systems formed by them is proposed. As an example, the amorphous rock – perlite is considered from the point of view of the connected dispersed system. The similarity between artificial composite materials and perlite is shown. It is concluded that this rock can be considered as a solid solution with a solid dispersed phase and a solid dispersion medium.

Keywords: volcanic rocks, sedimentary rocks, perlite, classification, cohesive system, solid solution

К аморфным горным породам принято относить природные агрегаты минералов, из которых состоит земная кора. Эти агрегаты характеризуются, как правило, более или менее постоянным составом и могут содержать как один минерал (так называемые простые, или мономинеральные, горные породы), так и несколько минералов (в этом случае речь идет о сложных, или полиминеральных, горных породах) [1].

Само понятие «минерал» (от лат. *minera* – руда) определяет объекты природного происхождения с приблизительно

однородными химическим составом и физическими свойствами. До настоящего времени нет четкости в отношении классификации горных пород: являются ли они соединением или твердым раствором?

Относительно понятия «твердый раствор» в кристаллохимии известны четыре варианта упорядочения замещающих атомов [2–4]: вероятностное (распределение хаотично в любой точке кристаллической структуры); упорядоченность ближнего порядка (наблюдается наличие порядка в распределении атомов в ближних координатах); упорядоченность дальнего порядка (наблюдается наличие порядка в распределении атомов в дальних координатах); полностью упорядоченное.

национных сферах); упорядоченность дальнего порядка (реализуется упорядоченность ближнего и дальнего порядка, однако она не достигает 100%); полностью упорядоченное (с химической точки зрения в этом случае речь идет о новом соединении промежуточного состава).

Однако четкие границы между понятиями «соединение» и «твердый раствор» провести невозможно: в химической лаборатории, а тем более – в природе обычно реализуются объекты, которые можно отнести к достаточно упорядоченным твердым растворам и, одновременно, к недостаточно упорядоченным веществам. В качестве примера можно упомянуть силикаты с их полостями и каналами, в которых располагается переменное количество примесных ионов.

В этой связи в данном исследовании была предпринята попытка создания химической классификации горных пород на основе отнесения их к дисперсным системам.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны аморфные горные породы, в частности вулканические стекла. Методы исследования опираются на законы кристаллохимии и петрографии. В качестве исходной гипотезы принята классификация неорганических материалов по степени упорядочения примесных атомов (в твердых растворах).

Результаты исследования и их обсуждение

Как известно, по генезису горные породы классифицируют на магматические (вулканические) и осадочные (метаморфические). Магматические горные породы разделяются на эффузивные (излившиеся) и интрузивные (глубинные). Горные породы осадочного происхождения могут быть хемогенными, обломочными, органогенными. Для метаморфических горных пород известно разделение на сланцевые и несланцевые.

Породы вулканического происхождения, содержащие большое количество кремнезема, это обсидианы, пемзы, пехштейны, перлиты. Эти породы относят к аморфным. Применение некоторых подобных минералов ведет свое начало из глубины веков.

В этой связи следует отметить вулканическое стекло – обсидиан. Со времен эпохи палеолита известно применение этого яркого и относительно прочного минерала

в виде ножей, наконечников стрел, скребков. Согласно данным археологических раскопок, изделия из обсидиана служили людям в быту наряду с кремниевыми орудиями. В более поздние века отдельные кусочки природного стекла научились подвергать обработке с получением зеркал. Как известно, обсидиан – минерал, чем-то напоминающий янтарь своей прозрачностью и красивой игрой света и тени, и одновременно – агат своей неповторимой окраской. В качестве украшений этот минерал находил спрос и ныне.

С середины прошлого века интерес к вулканическим стеклам приобретает промышленную направленность. Так, например, профессор М.П. Воларович с сотрудниками занимался изучением процессов плавления обсидианов и вязкости их расплавов. Академик П.П. Будников [5] провел ряд исследований и предложил использовать в строительстве в качестве мягкого заполнителя вспученное вулканическое стекло. Еще одним направлением переработки высококремнеземистых горных пород, в частности армянских пемз, стало их применение в качестве исходного сырья для производства бутылки темно-зеленого цвета.

За годы изучения и промышленного использования аморфных горных пород было предпринято несколько попыток их классификации. Одной из первых классификаций вулканического стекла может считаться предложенная В.П. Петровым. Согласно его представлениям, при длительной гидратации обсидиана, которая может протекать миллионы лет, образуется перлит. В.П. Петров выделил [6] зональные потоки. В целом кислые лавовые потоки имеют больший объем и меньшую протяженность по сравнению с основными. По глубине залегания в толще вулканических стекол можно выделить несколько областей. Наиболее глубоко расположенные плотные стекла – обсидианы – имеют тенденцию к окристаллизации с увеличением глубины залегания. В результате частичной гидратации обсидианов образуются перлиты или обводненные стекла. Наиболее близко к поверхности располагаются пемзы – пористые кислые стекла. Технологические свойства рассматриваемых минералов в существенной степени определяются степенью их гидратации. В таблице приведена классификация стекол вулканического происхождения по степени гидратации.

Физико-химические и технологические свойства вулканических стекол

Наименование вулканического стекла	Химический состав			Особенности структуры	Основные технологические свойства
	Тип стекла	Содержание			
		SiO ₂	H ₂ O		
Обсидиан	кислые	Более 65%	Менее 1%	Имеет стеклянный блеск, плотность 2,5–2,6 г/см ³	При длительной термо- обработке вспучивается в один прием
Перлит	кислые	Более 65%	Более 1%	Способен распадаться на отдельные шарики – перлы, пористость 5–30%	При краткой термооб- работке вспучивается в один или два приема
Пемза	кислые	Более 65%	Более 1%	Имеет поры различного размера, пористость 30%, плотность 2–2,5 г/см ³	Применяют без дополнительной термообработки
Смоляной камень	кислые	Более 65%	Более 1%	Имеет поры различного размера, пористость 5–30%, плотность 2,4–2,5 г/см ³	Вспучивается при частичной дегидра- тации с последующей термообработкой
Тахилит	основные и средние	Менее 65%	Около 1%	Структура плотная	Не способен к вспучиванию
Вулканический шлак	основные и средние	Менее 65%	—	Имеет крупные поры	Применяют без дополнительной термообработки

Исключительно высокие технологические свойства характерны для перлита. Ряд исследований показывает, что образование перлитов возможно как при полной или частичной гидратации обсидиана, так и в результате прямого остывания вулканической стеклообразной лавы. Именно такие перлиты, обладающие наиболее ценными технологическими свойствами, принято называть «первичными». В качестве нового сырьевого материала для промышленности строительных материалов первичные перлиты были введены профессором В.В. Наседкиным [7–9].

В настоящее время общие запасы перлитов оцениваются величиной более двадцати пяти миллионов тонн [10].

Месторождения различных вулканических стекол сильно различаются по условиям добычи, транспортировки, характера залегания полезных ископаемых и, как следствие, удобства эксплуатации. Как правило, эти месторождения располагаются в областях молодого вулканизма. Такая особенность связана с самим характером этих минералов, так как стеклообразное состояние может существовать только вблизи от поверхности Земли. В более глубинных областях под действием высоких температур и давления происходит частичная кристаллизация горных пород. Вследствие этого основные области месторождений вулканических стекол располагаются на территории бывших стран СНГ и России, охватывая

территории Украины на границе с Румынией, Венгрией, Словакией и Польшей, через районы Таджикистана, Киргизии, Казахстана до Дальнего Востока.

Применение перлитов напрямую связано с их происхождением, которое, в свою очередь, определяет физико-химические и минералогические особенности горных пород. В первую очередь речь идет о степени пористости структуры, виде и распределении областей кристаллических включений [11].

Кроме классификации по происхождению, горные породы и минералы характеризуют по их химическому составу. Поскольку лаву можно рассматривать как затвердевший расплав горных пород, вышедших на поверхность Земли, рассмотрим возможность образования твердых растворов на основе эффузивных пород.

Раствором называют гомогенную (одинаковую) систему переменного состава, состоящую из растворителя (компонента в большем количестве), растворенного вещества (одного или нескольких) и продуктов их взаимодействия [12]. Различают истинные растворы, в которых размер частиц растворенного вещества не превышает 1 нм, и коллоидные растворы, с размером частиц 1–1000 нм (системы с большим размером частиц растворенного вещества являются грубодисперсными). Коллоидные системы являются дисперсным, содержат две (и более) фазы. Такие системы состоят из дисперсной

фазы (локальные включения), распределенной в дисперсионной среде (сплошная фаза). Эти фазы не смешиваются и являются химически инертными друг по отношению к другу. Фазой принято называть гомогенную часть гетерогенной системы, отделенную от окружающей ее среды поверхностью раздела.

Дисперсные системы являются обязательно гетерогенными. По агрегатному состоянию дисперсионной среды выделяют системы с газообразной (аэрозоли), жидкой (золи, гели) и твердой (твердые растворы) дисперсионной средой. Дисперсная фаза может быть также газообразной, жидкой, твердой (рис. 1).

Горные породы и минералы могут быть отнесены к дисперсным системам с твердой дисперсионной средой.

Магматические горные породы интрузивного типа, формирование которых протекает на большой глубине, характеризуются наличием крупных кристаллов, в основном кварца, полевых шпатов, слюды. Такая система может быть отнесена к твердым растворам с твердой дисперсной фазой и твердой дисперсионной средой. К такому типу дисперсных систем относится, например, гранит.

Магматические горные породы эффузивного типа, которые образуются при извержении вулкана, имеют мелкозернистое, скрытокристаллическое или аморфное строение. К таким горным породам относятся, например, обсидиан. Основными минералами обсидиана являются кварц и полевой шпат. При содержании воды менее 1% обсидиан – однородное вулканическое стекло. Если содержание воды более 1%, горная порода вспучивается при нагревании, образуется перлит. Таким образом, горная порода перлит относится к твердым гетерогенным системам.

В общем случае можно утверждать, что к твердым растворам относятся гомогенные (однородные по составу в любой своей части) кристаллические фазы переменного состава, которые образуются в двух или более компонентных системах. Используя классическое определение понятия «раствор», можно показать, что кристаллическая фаза, находящаяся в большем количестве, будет растворителем, в меньшем количестве (одна или несколько) – растворенным веществом. При этом растворитель в твердом растворе – обязательно твердое вещество при обычных условиях. Растворенное вещество может быть в различных агрегатных состояниях (твердое, жидкое, газообразное). При неограниченной растворимости компонен-

тов системы друг в друге образуется непрерывный ряд твердых растворов. В реальных условиях концентрация растворенного вещества не может превышать некоторое предельное значение (без изменения физико-химических характеристик вещества) и существование твердых растворов ограничено некоторыми областями составов, которые образуют области гомогенности. К твердым растворам относятся [12] многие металлические сплавы (например, аустенит, представляющий собой равномерно распределенные атомы углерода в элементарной ячейке железа) и неметаллические системы – минералы (в частности, драгоценные камни, состоящие из распределенных оксидов различных металлов в матрице кремнезема), стекла (со времен М.В. Ломоносова известны рубиновые стекла, полученные распределением мелких вкраплений золота в стекле), полупроводники (арсениды галлия, индия и т.п.), ферриты (никель-цинковые, марганец-цинковые ферриты и т.д.).

Для перлита по химическому составу основными компонентами являются [13] оксиды кремния (IV) (SiO_2 , до 75%), алюминия (Al_2O_3 , до 16%), калия (K_2O , до 5%), натрия (Na_2O , до 4%), железа (III) (Fe_2O_3 , до 3%), магния (MgO , до 1%), кальция (CaO , до 2%). Воды в составе породы до 6%.

Образование перлита из вулканического стекла (обсидиана) под воздействием подземных вод может свидетельствовать в пользу тезиса о его стеклообразном состоянии [14].

По текстурным признакам выделяют перлиты – массивный, полосчатый, брекчиевидный, пемзовидный.

На рис. 2 приведено схематическое строение горной породы перлит. Его структуру можно представить как сфероидальную: в целом аморфная, стеклообразная порода состоит из шариков, похожих на жемчужины (их диаметр составляет от 1 до 15 мм), которые либо вкраплены в стекло поодиночке, либо слагают всю породу. Характерным признаком перлита можно считать вулканическое стекло с перлитовой отдельностью (мелкими скорлуповатыми шариками), распределенными в матрице.

С подобной точки зрения перлит может быть представлен как композиционный материал естественного происхождения, состоящий из твердой стеклообразной матрицы с включениями твердых капель перлов. В этой связи горная порода перлит может быть рассмотрена как твердый раствор с твердой дисперсной фазой и твердой дисперсионной средой.

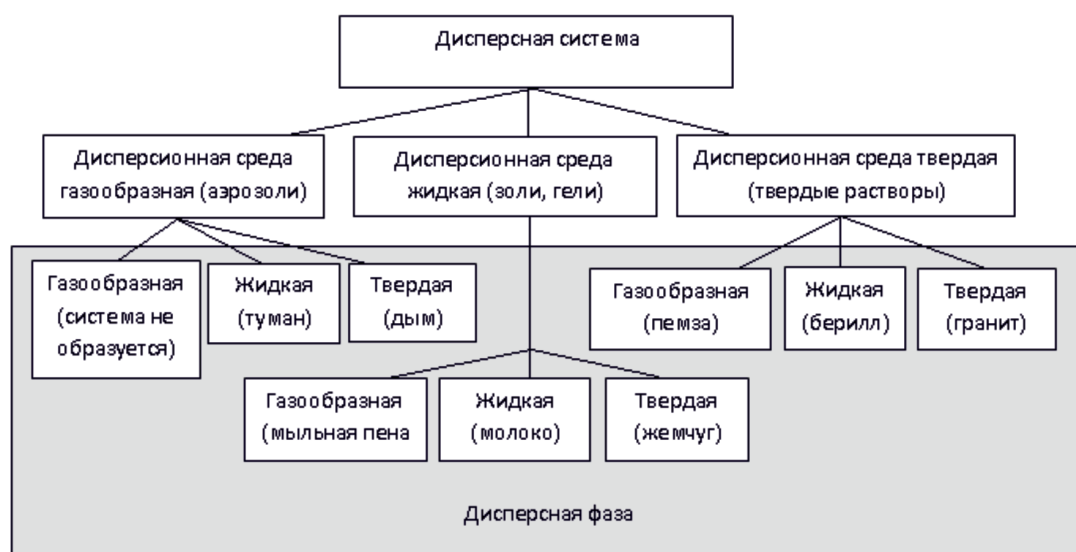


Рис. 1. Классификация дисперсных систем

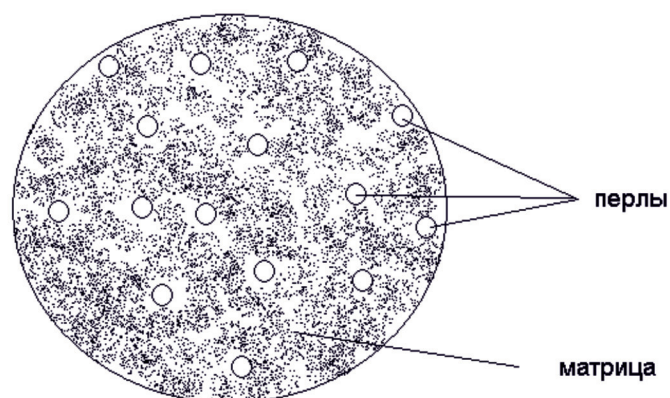


Рис. 2. Схематическое изображение породы перлит

Заключение

Таким образом, предложена химическая классификация ряда горных пород по принципу образуемых ими дисперсных систем. Горная порода перлит рассмотрена с точки зрения связнодисперсной системы. Показана общность между искусственными композиционными материалами и перлитом. Сделано заключение, что эта горная порода может быть рассмотрена как твердый раствор с твердой дисперсной фазой и твердой дисперсионной средой.

Список литературы

1. Тюменцева О.В. Минералы и горные породы: учебное пособие / О.В. Тюменцева. – Омск: СибАДИ, 2013. – 72 с.
2. Урусов В.С. Кристаллохимия. Краткий курс / В.С. Урусов, Н.Н. Еремин. – М.: Изд-во МГУ, 2010. – 256 с.
3. Сережкин В.Н. Стереохимия кремния в кислородсодержащих соединениях / В.Н. Сережкин, В.С. Урусов // Кристаллография. – 2017. – Т. 62, № 1. – С. 43–53.
4. Урусов В.С., Еремин Н.Н. Локальная структура твердых растворов по результатам компьютерного моделирования и экспериментальным данным / В.С. Урусов, Н.Н. Еремин // Журнал структурной химии. – 2015. – Т. 56, № 4. – С. 786–800.
5. Будников П.П. Вулканические водосодержащие стекла / П.П. Будников, А.Е. Рохваргер. – М.: Знания, 1969. – 326 с.
6. Петров В.П. Современное состояние и перспективы развития перлитовой промышленности / В.П. Петров. – М.: Наука, 1981. – С. 5–16.
7. Геология, минералогия и генезис палыгорскитовых глин борщевского месторождения Калужской области и перспективы их технологического использования / В.В. Наседкин [и др.] // Геология рудных месторождений. – 2014. – Т. 56, № 3. – С. 237–258.

8. Наседкин В.В. Кислый вулканизм и водосодержащие стекла Северо-Востока СССР / В.В. Наседкин. – М.: Наука, 1983. – 196 с.
9. Микроскопическое изучение «кремнистых пород» Сарбайской свиты медногорского рудного района (Южный Урал) / В.В. Дьяконов [и др.] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2014. – № 1. – С. 93–96.
10. Обзор рынка перлита в СНГ / Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: ИнфоМайн, 2010. – 13 с.
11. Исследование процессов и разработка технологии комплексной переработки перлитов / С.А. Сагарунян [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. – 2015. – № 5. – С. 91–93.
12. Черкасова Т.Ю. Основы кристаллографии и минералогии: учебное пособие; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2014. – 207 с.
13. Мелконян Г.С. Гидротермальный способ приготовления комплексного стекольного сырья «КАНАЗИТ» на основе горных пород и продуктов их переработки / Г.С. Мелконян. – Ереван: Изд-во «Айастан», 1977. – 238 с.
14. Использование горных пород и промышленных отходов для производства стеклообразных пеноматериалов / Р.Г. Мелконян [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № S1. – С. 350–368.
15. e'ksperimental'ny'm danny'm / V.S. Urusov, N.N. Eremin // Zhurnal strukturnoj khimii. – 2015. – Т. 56, № 4. – С. 786–800.
16. Budnikov P.P. Vulkanicheskie vodosoderzhashhie stekla / P.P. Budnikov, A.E. Roxvarger. – М.: Znanya, 1969. – 326 p.
17. Petrov V.P. Sovremennoe sostoyaniye i perspektivy razvitiya perlitovoj promyshlennosti / V.P. Petrov. – М.: Nauka, 1981. – С. 5–16.
18. Geologiya, mineralogiya i genezis paly'gorskitovy'x glin borshhevskogo mestorozhdeniya Kaluzhskoj oblasti i perspektivy ix tekhnologicheskogo ispol'zovaniya / V.V. Nasedkin [i dr.] // Geologiya rudny'x mestorozhdenij. – 2014. – Т. 56, № 3. – С. 237–258.
19. Nasedkin V.V. Kisly'j vulkanizm i vodosoderzhashhie stekla Severo-Vostoka SSSR / V.V. Nasedkin. – М.: Nauka, 1983. – 196 p.
20. Mikroskopicheskoe izuchenie «kremnisty'x porod» Sarbajskoj svity mednogorskogo rudnogo rajona (Yuzhny'j Ural) / V.V. D'yakonov [i dr.] // Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Inženerny'e issledovaniya. – 2014. – № 1. – С. 93–96.
21. Obzor ry'nka perlita v SNG / Izd. 2-е, dop. i pererab. – М.: InfoMajn, 2010. – 13 p.
22. Issledovanie processov i razrabotka tehnologii kompleksnoj pererabotki perlitov / S.A. Sagarunyan [i dr.] // Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. – 2015. – № 5. – С. 91–93.
23. Cherkasova T.Yu. Osnovy kristallografii i mineralogii: uchebnoe posobie; Tomskij politexnicheskij universitet. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo Politehnicheskogo universiteta, 2014. – 207 p.
24. Melkonyan G.S. Gidrotermal'ny'j sposob prigotovleniya kompleksnogo stekol'nogo syr'ya «KANAZIT» na osnove gorny'x porod i produktov ix pererabotki / G.S. Melkonyan. – Erevan: Izd-vo «Ajastan», 1977. – 238 p.
25. Ispol'zovanie gorny'x porod i promyshlenny'x otvodov dlya proizvodstva stekloobrazny'x penomaterialov / R.G. Melkonyan [i dr.] // Gorny'j informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). – 2018. – № S1. – С. 350–368.

References

1. Tyumenceva O.V. Mineraly i gorny'e porody: uchebnoe posobie / O.V. Tyumenceva. – Omsk: SibADI, 2013. – 72 p.
2. Urusov V.S. Kristalloxiimiya. Kratkij kurs / V.S. Urusov, N.N. Eremin. – М.: Izd-vo MGU, 2010. – 256 p.
3. Serezhkin V.N. Stereoximiya kremniya v kislorodsoderzhashhix soedineniyax / V.N. Serezhkin, V.S. Urusov // Kristallografiya. – 2017. – Т. 62, № 1. – С. 43–53.
4. Urusov V.S., Eremin N.N. Lokal'naya struktura tverd'x rastvorov po rezul'tatam komp'yuternogo modelirovaniya i