

Л. Б. САРУХАНЯН, Г. М. МКРТЧЯН

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АКЦЕССОРНЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АПАТИТЕ

Настоящая работа рассматривает распределение редкоземельных элементов в апатите Абовяновского магнетит-apatитового месторождения в Армянской ССР.

Геологический разрез района месторождения начинается фаунистически охарактеризованными отложениями сармата [8]. Представлены они глинисто-песчаниковой толщей с отдельными прослоями гипсоносных глин, мергелей и известняков.

Отложения сарматской толщи перекрываются рудовмещающими вулканогенными породами андезито-дацитового состава. Последние прорывают вулканогенно-осадочную толщу (вскрытую буровыми скважинами), состоящую из туфобрекчий и туфоконгломератов с карбонатным цементом.

Вопрос возраста андезито-дацитов остается до сих пор дискуссионным, но большинство исследователей (А. Т. Асланян, А. Р. Арутюнян, Дж. А. Оганесян и др.) относят их к мэотис-понту [2]. Абсолютный возраст* оруденения по двум пробам (биотит) из рудных прожилков в андезито-дацитах и сарматской толще определяется как понт-киммерийский (5—6 млн. лет). Таким образом, учитывая эпигенетичность оруденения по отношению к рудовмещающим породам, возраст андезито-дацитов отнесен к постсарматскому-допонтийскому.

Андезито-дациты переходят в безрудные андезито-базальты, липарито-дациты, местами переслаивающиеся с липарито-обсидиановыми и обсидиановыми туфобрекчиями.

Все вышеописанные породы сильно дислоцированы и перекрыты плащом четвертичных базальт-андезитовых лав.

Даечный комплекс имеет весьма ограниченное распространение и представлен лишь андезит-порфиритами, сливиновыми габбро-порфирами и диабазовыми дайками. Все они безрудные.

В тектоническом отношении магнетит-apatитовое месторождение находится на стыке выделенного А. Т. Асланяном структурного шва, разграничивающего эвгеосинклинальную и миогеосинклинальную области Малого Кавказа [2]. Этим, по всей вероятности, можно объяснить наличие множества тектонических нарушений, зафиксированных при документации скважин. Самое крупное из них (мощность 70 м), близмеридионального простирания с многочисленными оперяющими трещинами пересекает все рудное поле и служит, судя по характеру оруденения, рудоподводящим каналом. Дорудные тектонические нару-

* Определения произведены в лаборатории абсолютной геохронологии ИГН АН Армянской ССР Р. Х. Гукасяном.

шения предопределили условия залегания и морфологию рудных тел. Особенно важную роль сыграли зоны интенсивного дробления и брекчирования, разновременная система трещин, образующих на отдельных интервалах густую сеть прожилков, способствующих локализации оруденения.

Образование магнетит-apatитового месторождения происходило как путем заполнения трещин, так и путем метасоматического замещения андезито-дацитов, сарматских глин и карбонатного цемента туфобрекчий и туфоконгломератов.

На месторождении можно выделить по морфологии следующие типы руд, в которых широко распространен апатит:

М а с с и в н а я магнетитовая руда с редкой, иногда довольно густой вкрапленностью апатита. Вкрапленники образуют столбчатые полупрозрачные кристаллы размером до 5—8 см в длину. Грани выражены четко. Апатит этот отличается небольшой твердостью, образует мелкозернистый «сахаровидный» агрегат, светло-желтого, ближе к белому, цвета.

В а п а т и т о в о й жиле основная масса представлена мелкозернистым апатитом бледно-зеленого, бледно-желтого, молочно-белого цветов. В этой массе выступают в виде порфировых выделений прозрачные идиоморфные кристаллы бледно-зеленого цвета, удлиненно-призматического габитуса ($0.3—0.6 \times 0.5—2$ см) с хорошо выраженными бипирамидальными гранями и столбчатые кристаллы бледно-фиолетового и желтоватого цветов, аналогичные таковым по агрегатному состоянию в массивной магнетитовой руде.

Апатитовая жила при мощности 0.4 — 0.5 м прослеживается с перерывами на 8—10 м при простирании на север — северо-восток $5—10^\circ$ и угле падения $50—55^\circ$.

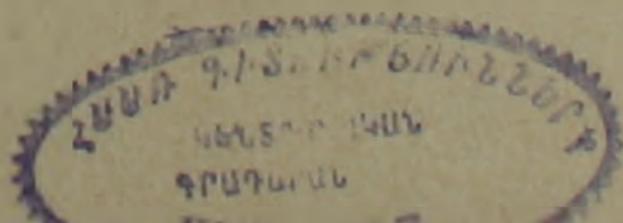
П р о ж и л к и апатит-магнетитового состава. Здесь апатит образует в основном идиоморфные кристаллы бледно-зеленого цвета. Редко встречается мелкозернистый апатит желтоватого, бледно-розового цветов.

В б р е к ч и е в и д н ы х рудах апатит занимает положение цементирующей массы, наравне с карбонатами и магнетитом, причем последние в количественном отношении преобладают. Апатит встречается как в виде прозрачных, бледно-желтых, идиоморфных кристаллов, так и в виде «сахаровидного» агрегата молочно-белого цвета.

В т у ф о б р е к ч и я х, метасоматически измененных, апатит замещает карбонатную массу. По цвету и агрегатному состоянию он аналогичен таковым в брекчиевидных рудах.

В м е т а с о м а т и ч е с к и измененных андезито-дацитах количество апатита находится в прямой зависимости от степени изменения рудовмещающих пород. В основном апатит образует прозрачные идиоморфные кристаллы призматического габитуса светло-желтого цвета.

В с а р м а т с к и х глинах апатит образует бесцветные прозрачные, игольчатые удлиненные кристаллы с хорошо образованными призматическими и бипирамидальными гранями.



На месторождении собственные минералы редкоземельных элементов до сих пор не установлены. Отсутствие их может быть объяснено тем, что на месторождении широко распространены, во-первых, апатит, а также минералы, содержащие Са и Fe, также, как карбонаты, амфиболы, пироксены и другие, обладающие определенной изоморфной емкостью в отношении редкоземельных элементов, что способствует их рассеиванию и препятствует образованию самостоятельных редкоземельных минералов [14].

Всего на содержание индивидуальных редкоземельных элементов проанализировано нами (количественное спектрографическое определение) 83 пробы апатита из различных типов руд (табл. 1).

Таблица 1

Элементы	Среднеарифметическое содержание редкоземельных элементов в апатите из различных типов руд в %						Пределы колебания р. з. э. в %	
	массивная магнетитовая руда	апатитовая жила	метасоматически изменен. андезит-порфириды	туфобрекчин	брекчинированная руда	прожилки магнетит-апатита		
La	1,10	0,69	0,64	0,68	0,66	0,72	0,64	—1,10
Ce	2,30	1,36	1,40	1,58	1,61	1,60	1,30	—2,30
Pr	0,09	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07	0,05	—0,09
Nd	0,44	0,22	0,28	0,24	0,29	0,32	0,22	—0,44
Sm	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	—0,03
Eu	0,0016	0,0014	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	—0,0016
Gd	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,034	0,03	—0,04
Dy	0,017	0,006	0,012	0,012	0,012	0,013	0,006	—0,017
Er	0,0025	0,0014	0,003	0,0025	0,002	0,004	0,0014	—0,004
Tu	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	—0,0004
Yb	0,0038	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	—0,0038
Lu	0,0003	0,00003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,0003	<0,0003	—0,0003
Y	0,14	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,10	—0,14

Характерной особенностью изучаемых апатитов из всех вышеописанных типов руд является то, что редкоземельные элементы представлены полностью, кроме Но и Тв, которые нами не определялись. Полный состав лантанидов Е. И. Семенов [16] связывает не с проявлением «замечательных особенностей эндокриптии», а с общей близостью химических свойств. Это свойство редкоземельных элементов, по Л. С. Бородину, является причиной того, что выделение только одного какого-либо редкоземельного элемента невозможно не только при образовании минерала, но также «лабораторными методами, базирующимися на различии в основности редкоземельных элементов» [6]. Совместное нахождение редкоземельных элементов И. В. Швей [19] связывает с небольшой вариацией ионного радиуса всех лантанидов (в пределах 15%), которая при одинаковых поляризационных свойствах допускает их изоморфную смесимость в необычайно широких пределах.

Закономерным для рассматриваемых апатитов является отсутствие резкого колебания содержания редкоземельных элементов в

каждом отдельном типе руды. Эта особенность позволяет при построении графиков рассчитывать среднеарифметическое содержание индивидуальных редкоземельных элементов для каждого типа руды (табл. № 1), исключая несколько проб, резко различных по содержанию редких земель.

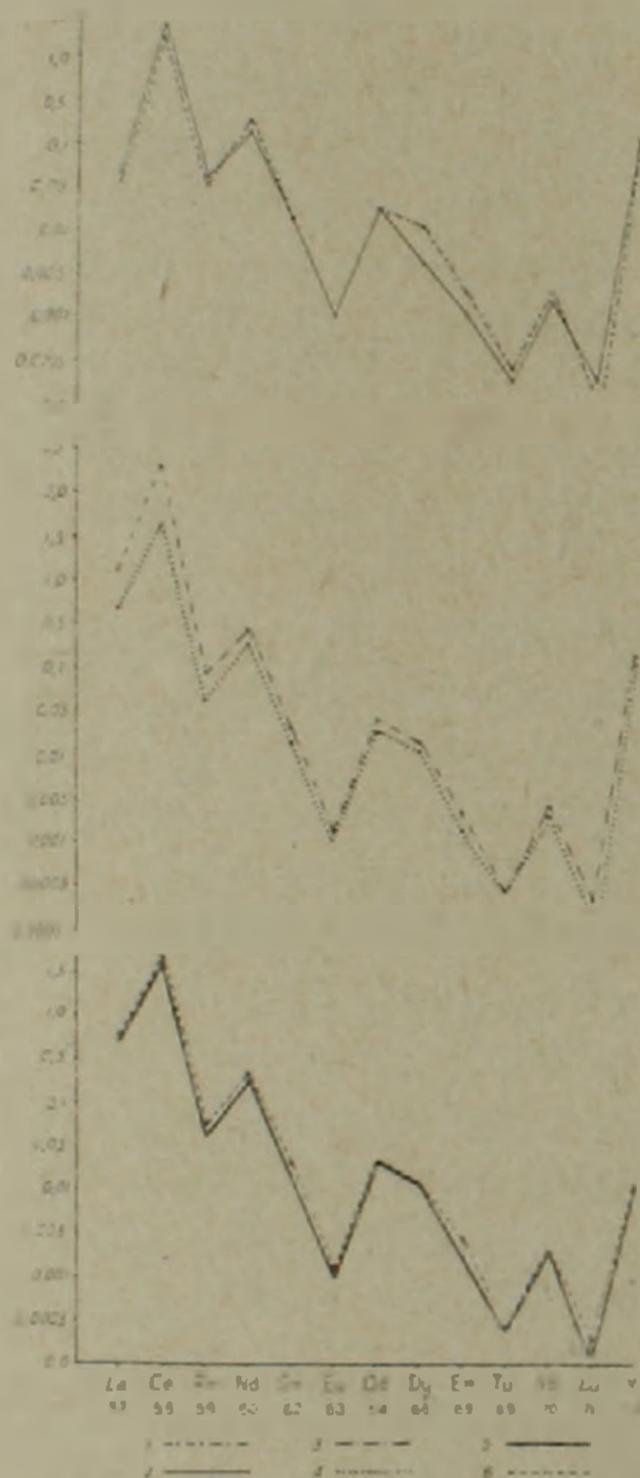
Замечено, что $La + Ce + Nd$ в исследуемых пробах составляет 80—90% от суммы редкоземельных элементов почти для всех проб. Только на $Ce + La$ приходится 60—70% от ΣTR . Высокое содержание Ce и La зафиксировано и на графике вариации (фиг. 1.). График составлен по среднеарифметическому содержанию редкоземельных элементов в апатите из различных типов руд и по редкоземельным элементам, расположенным по мере увеличения порядкового номера, а Y помещен в самом конце ряда. Этот способ построения графика предложен В. М. Гольдшмидтом [13]. Таким образом, апатит проявляет малую изоморфную емкость в отношении иттриевых земель, что подчеркивает более тесную геохимическую связь Ce и Ca , чем Ca и Y , несмотря на одинаковый ионный радиус последних (1.06Å). А. П. Хомяков [18] объясняет это тем, что минералы с высоким координационным числом атомов Ca (—12), например в апатите, обладают повышенной емкостью в отношении Ce .

Особенно высокое содержание Ce и La , при относительно повышенном содержании и остальных редкоземельных элементов, как явствует из графика вариации (фиг. 1) и таблицы 1, отмечается в апатите из массивной магнетитовой руды. Экспериментальными данными И. П. Алимарины и Ф. И. Павлоцкой [1] доказывається, что при $Ce : Fe^{3+} \approx 1 : 400$ сложные малодиссоциирующиеся редкоземельные соединения не образуются и при действии HF церий полностью выпадает в осадок в виде фторидов, а при $Ce : Fe^{3+} \approx 1 : 2000$ церий полностью остается в растворе. В подтверждение этого приводится высокое содержание редкоземельных элементов (4.28—32.40%) во фтор-apatите из рудника Олд Бед Майнвилл (рудные тела сложены в основном магнетитом с небольшим количеством роговой обманки, авгита, кварца и полевого шпата). Исходя из этих соображений, авторы предполагают, что образование исследуемых апатитов имело место вслед за кристаллизацией массивной магнетитовой руды или одновременно с ней, когда концентрация Fe уменьшилась, а среда была сильно щелочной и растворы были обогащены P , Cl и F . Возможно, к этому времени, с небольшим перерывом относится и образование чисто апатитовых жил.

Преобладание элементов цериевой группы над элементами иттриевой группы позволяет относить данные апатиты к минералам с селективно цериевым составом, при котором не исключается и наличие элементов иттриевой группы [6, 11, 15]. Такое соотношение лантанидов иттриевой и цериевой групп доказывает высокую щелочность минералообразующего раствора, существенно обогащенного цериевыми землями.

Не совсем обычно поведение иттрия и элементов иттриевой группы в изучаемых апатитах. Степень вариации содержания редкоземель-

ных элементов уменьшается от La к Lu причем у элементов иттриевой группы она уменьшается до минимума (табл. № 1; фиг. 1). Содержание иттрия превышает не только сумму всех редкоземельных элементов иттриевой группы, но и сумму Sm и Gd-элементов цериевой группы и по своей концентрации следует за Nd. Поведение диспрозия аналогично поведению Y по отношению к лантанидам иттриевой группы. Таким образом, при данных концентрациях (фиг. 1) элементы распределяются в таком порядке: Ce, La, Nd, Y, Pr, Gd, Sm, Dy, Er, Yb, Eu, Tb, Lu.



Фиг. 1. Распределение редких земель в апатите из различных типов руд: 1) метасоматически измененных андезитов-дацитов; 2) апатитовых жил; 3) массивной магнетитовой руды; 4) брекчиевидной руды; 5) туфобрекчий, метасоматически измененных; 6) прожилок магнетит-апатита.

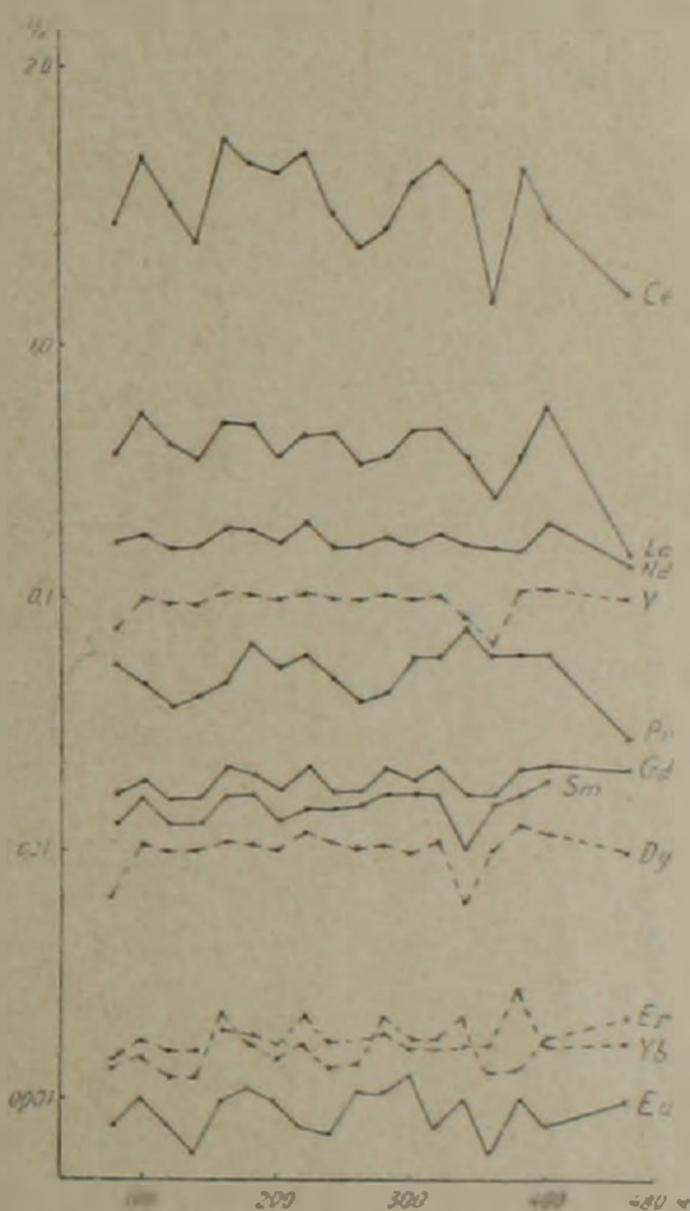
Аномальное поведение иттрия во многих минералах селективно цериевого состава и предпочтительную концентрацию иттрия одновременно с цериевыми землями отмечают Н. В. Туранская, Ю. А. Балашов [4] и Л. С. Бородин [6], которые это объясняют способностью иттрия проявлять аномально высокую основность. В то же время Л. С. Бородин [6] предполагает, что с точки зрения магматического генезиса

трудно представить себе такой механизм, который в одинаковой мере способствовал бы относительной концентрации иттрия в первичном селективном цериевом расплаве. По этой причине он предлагает принять метасоматический генезис ряда редкоземельных минералов. В пользу мнения об увеличении подвижности иттрия при метасоматических процессах высказывается также А. И. Тугаринов и Э. Е. Вайнштейн [18].

Повышенная концентрация иттрия в отношении отмеченных лантанидов может быть объяснена и тем, что ионный радиус Sm, Eu и Y, по Н. В. Белову и Г. Б. Бокию [19], равны 0.97 Å, а Nd 0.99 Å. Следовательно, если исходить из того, что степень основности находится в прямой зависимости от величины ионного радиуса [11], то Y по основности должен следовать за Nd.

Особый интерес для разрешения ряда геохимических вопросов представляет выяснение изменения характера распределения лантанидов по глубине. С этой целью был построен график (фиг. 2) зависимости среднеарифметического содержания (на каждые 20 м скважины) индивидуальных редкоземельных элементов в апатите от глубины. Выбор интервала был продиктован более или менее равномерным распределением числа определений лантанидов в апатите. Дифференциального распределения редкоземельных элементов в вертикальном направлении не наблюдается, но отмечается, в основном, соответствие максимума и минимума содержаний каждого редкоземельного элемента в отдельности, т. е. полное повторение конфигурации кривых распределения лантанидов на глубину.

Важной особенностью элементов редкоземельной группы является уменьшение степени основности от La к Lu, что находится в тесной зависимости от физико-химических условий кристаллизации (щелочности минералообразующей среды) и от исходной концентрации редкоземельных элементов в растворах [11, 12]. Эти свойства позволяют исследователям рассматривать редкоземельные элементы, входящие в состав апатита в виде изоморфных примесей, как элементы-индикаторы и использовать их в качестве дополнительных критериев для восстановления среды минералообразования и геохимической истории редкоземельных элементов в целом [17]. Наиболее характерным индикаторным коэффициентом среды минералообразования яв-



Фиг. 2. Вариации содержаний по глубине в апатите из различных типов руд.

ляется $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ и $\Sigma\text{La}/\Sigma\text{Nd}$ (табл. 2), причем ΣCe содержит элементы La—Eu включительно, ΣY содержит Gd—Lu и Y, как группы редкоземельных элементов, проявляющих противоположные геохимические тенденции. Кроме этого, индикаторный коэффициент позволяет установить последовательность выделения минералов, т. е. использовать его «... в качестве индикаторов стадийности геологических процессов» [11]. Из табл. 2 следует, что степень щелочности выше для апатитов из массивной магнетитовой руды и апатитовой жилы (соответственно 8 и 8.4), а для апатита из метасоматически измененных андезит-дацитов и туфобрекчий, брекчированных руд и прожилков варьирует в пределах 6.4—6.7. Эти коэффициенты дают возможность выделить две генерации апатита: а) апатит из массивной магнетитовой руды и апатитовой жилы и б) апатит из остальных вышеприведенных типов руд. Полученные коэффициенты еще раз подтверждают положение об образовании исследуемых апатитов в условиях высокой щелочности среды минералообразующего раствора и постепенного изменения условий кристаллизации апатита.

Таблица 2

Типы руд	$\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$	$\Sigma\text{La}/\Sigma\text{Nd}$	$\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{La}$
Массивная магнетитовая руда	8,0	2,5	2,1
Апатитовая жила	8,4	3,1	2,0
Метасоматически измененные андезит-порфи- риты	6,7	2,3	2,0
Туфобрекчии, метасоматически измененные .	6,5	2,3	2,4
Брекчированная руда	6,4	2,2	2,3
Прожилки магнетит-апатита в андезит-порфи- ритах	6,4	2,2	2,3

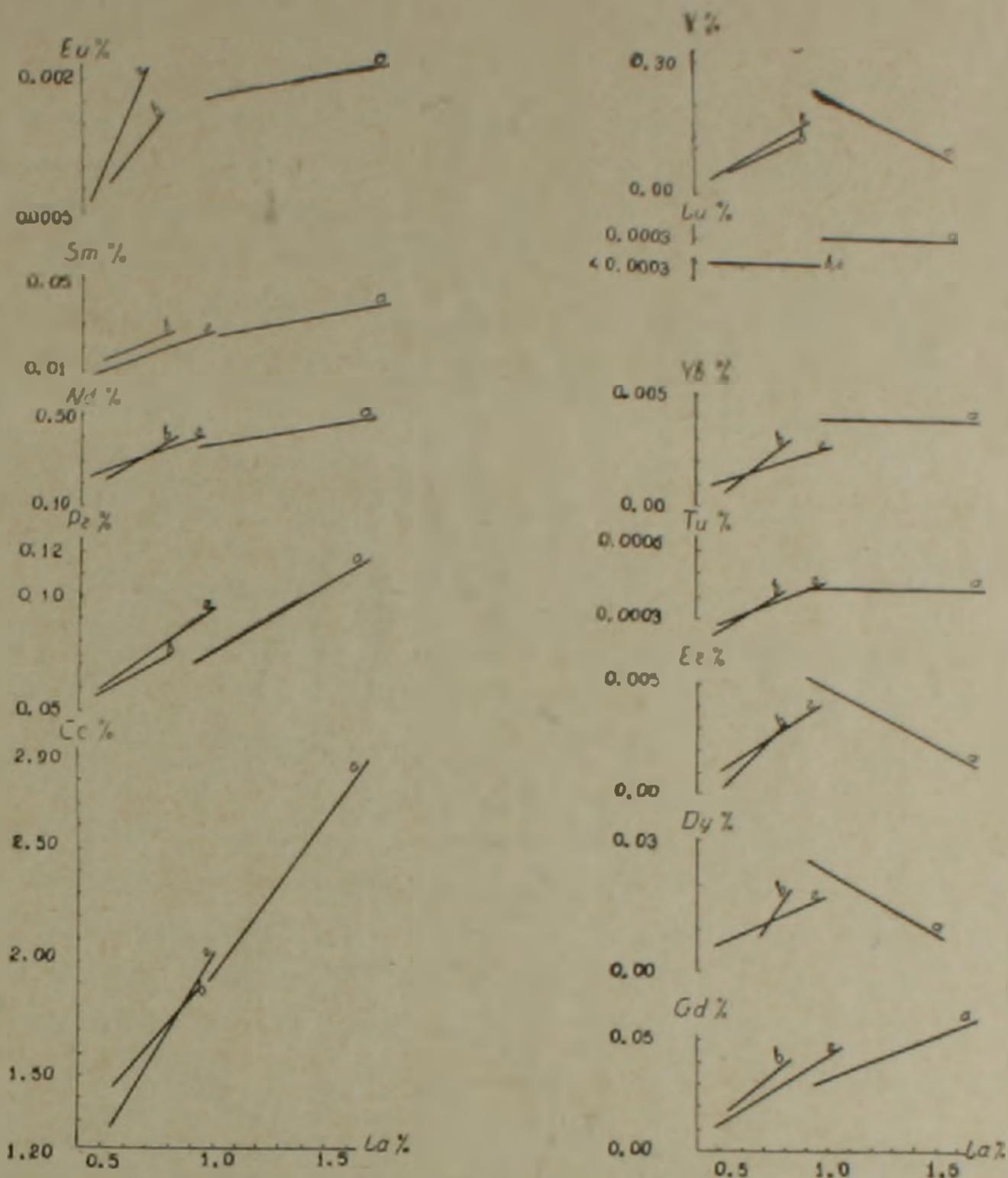
Соотношение $\Sigma\text{La}/\Sigma\text{Nd}$ и $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{La}$ остается почти одинаковым для апатита из всех типов руд, следовательно, меняется лишь процентное содержание при сохранении их соотношений.

Изучение лантанидов в составе апатитов, а также особенностей в распределении редкоземельных элементов производится, в основном, по лантановому и иттербиевому графику. Выше было отмечено, что наивысшей основностью в ряду лантанидов обладает La, а наименьшей Yb и Lu и, естественно, изменение щелочности среды, в первую очередь, сказывается на относительной концентрации этих элементов [5, 6].

Авторы считают целесообразным применение лантанового графика, в связи с тем, что иттербий, как видно из фиг. 1, имеет почти постоянную концентрацию, независимо от содержания остальных лантанидов.

Лантановый корреляционный график составлен по содержанию индивидуальных редкоземельных элементов и лантана в апатите из различных типов руд. Точки, соответствующие определенному содержа-

нию лантанидов, мысленно охватываются в эллипс, длинная ось которого и является графиком корреляции (фиг. 3а, в, г и 4 б, д, е).



Фиг. 3. Лантановые графики для редкоземельных элементов в апатите из различных типов руд: а) массивной магнетитовой руды; в) брекчиевидной руды); г) туфобрекчий, метасоматически измененных.

Графики корреляции рассматриваются отдельно для каждого типа руды:

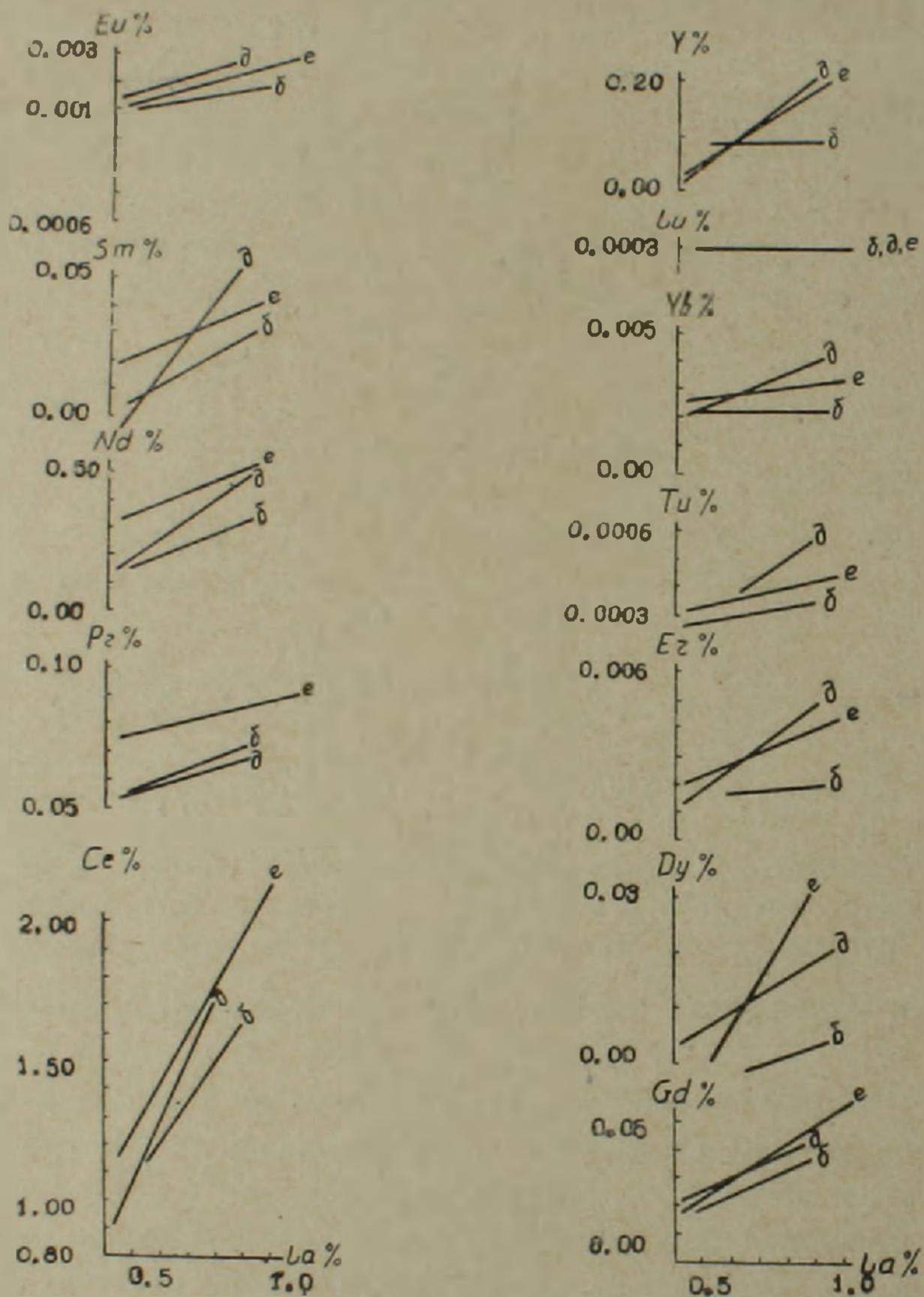
А. Лантаниды цериевой группы в апатите из массивной магнетитовой руды (фиг. 3а) проявляют четко выраженную прямую корреляционную зависимость в отношении La, особенно Ce. Для остальных лантанидов цериевой подгруппы tg угла наклона графика корреляции уменьшается, но сохраняется тенденция к прямой зависимости.

Для элементов иттриевой группы четко выраженная обратная зависимость отмечается для элементов Dy, Er, Y, а tg угла наклона графика остальных элементов иттриевой группы (Tu, Yb, Lu) приближается к нулю, т. е. как для «промежуточных» элементов [6] концентрация их не зависит от содержания лантана.

Таким образом, можно выделить три группы элементов, являющихся результатом постепенного изменения щелочности среды: а) Ce, La, Pr, Nd, Sm, Gd, Eu; б) Dy, Er, Y; в) промежуточные—Tu, Yb, Lu.

Для этого типа руд выпадение редкоземельных элементов цериевой группы имело место в сильно щелочной среде, дальнейшее уменьшение щелочности которой привело к повышению роли иттрия и некоторых элементов иттриевой группы.

Б. Редкоземельные элементы в апатите из собственно апатитовых жил (фиг. 4б) проявляют четкую корреляционную зависимость для элементов Ce и La, в меньшей степени для остальных элементов цериевой группы. Как и в апатите из вышеотмеченного типа руд иттрий проявляет обратную корреляционную зависимость, \lg угла наклона



Фиг. 4. Лантановые графики для редкоземельных элементов в апатите из различных типов руд; б) апатитовой жилы; д) метасоматически измененных андезит-дацитов; е) прожилков магнетит-апатита.

графика остальных элементов иттриевой групп (Er, Tu, Yb, Lu) равен нулю. Отличительной особенностью этих апатитов является то, что Dy тоже проявляет тенденцию к прямой зависимости, как элементы цериевой группы Gd, Sm, Eu. По проявленной основности тут тоже можно

выделить три группы: а) La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy; б) Y; в) промежуточные — Er, Tm, Yb, Lu.

В. В апатите из метасоматически измененных андезито-дацитов (фиг. 4д и фиг. 3г), брекчированных руд (фиг. 3в), прожилков из рудовмещающих андезито-дацитов и сарматских глин (фиг. 4е) поведение редкоземельных элементов одинаковое. Интересно отметить аномальное поведение элементов иттриевой группы. Их поведение аномально не только в отношении до сих пор изученных апатитов, но и для поведения лантанидов в большинстве редкоземельных минералов. Редкоземельные элементы в апатите из всех отмеченных типов руд проявляют прямую корреляционную зависимость по отношению к La, меняется лишь tg угла наклона графика корреляции. Характер промежуточного элемента сохраняется как и во всех типах руд у Lu. Провести какую-то определенную границу между элементами иттриевой и цериевой подгрупп не представляется возможным.

Идентичность поведения всех лантанидов в вышеотмеченных типах руд, возможно, является результатом изменения щелочности метасоматизирующих растворов приводившем к сходным условиям фракционирования и изменения температурного режима [6].

Проявление прямой корреляционной зависимости между Y и элементами иттриевой группы и La можно объяснить, как было отмечено выше, способностью иттрия проявлять аномально высокую основность при метасоматических процессах и, если учесть большую сходимость химических свойств элементов иттриевой группы, то становится понятным и поведение остальных лантанидов иттриевой группы.

Таким образом:

1. Высокое содержание элементов цериевой группы особенно Ce, La, Nd, сумма которых превышает 80% от общей суммы редкоземельных элементов, обусловлено высокой щелочностью минералообразующего раствора и позволяет отнести исследуемые апатиты к минералам с селективно цериевым составом.

2. Аномальное поведение Y и лантанидов иттриевой группы в апатите из метасоматически измененных андезито-дацитов и туфобрекчий, брекчированных руд, прожилков связано с процессами щелочного метасоматоза (скаполитизация, биотитизация и т. д.).

3. Выделены две генерации апатита:

а) Апатит из массивной магнетитовой руды и апатитовой жилы характеризуется одинаковым индикаторным коэффициентом $\Sigma Ce / \Sigma Y$ 8—8.4 и разделением лантанидов на цериевую, иттриевую и промежуточную подгруппы.

б) Апатит из брекчированных руд, метасоматически измененных андезито-дацитов и туфобрекчий, прожилков в андезито-дацитах и сарматских глинах отличается более низким коэффициентом $\Sigma Ce / \Sigma Y$ (6.4—6.7) и невозможностью выделить подгруппы редкоземельных элементов с противоположными геохимическими тенденциями.

4. Одинаковый состав редкоземельных элементов в апатите из всех типов руд, постоянство соотношений $\Sigma Ce/\Sigma La$ и $\Sigma La/\Sigma Y$, последовательное изменение щелочности минералообразующего раствора говорят о постепенно развивающемся источнике рудообразующего раствора.

Институт геологических наук
АН Армянской ССР

Поступила 9.IX.1966.

Լ. Բ. ՍԱՐՈՒԽԱՆՅԱՆ, Գ. Մ. ՄԿՐՏՉՅԱՆ

ԱՎՑԵՍՈՐ ՀԱԶՎԱԳՅՈՒՏ-ՀՈՂԱՅԻՆ ԷԼԵՄԵՆՏՆԵՐԻ ՏԵՂԱԲԱՇԽՈՒՄԸ ԱՊԱՏԻՏՈՒՄ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. լ. մ.

Մետասոմատիկ փոփոխված անդեզիտային պորֆիրիտներից և տուֆոբեկչիաններից, հոծ մագնետիտային հանքանյութից, մագնետիտ-ապատիտային երակիկներից, ապատիտային երակներից և բրեկչիացված հանքանյութից անջատված ապատիտները աչքի են ընկնում հազվագյուտ հողային էլեմենտների բարձր պարունակությամբ: Լանտանիդների առավելագույն պարունակությունը նշվում է հոծ մագնետիտային հանքանյութերում: Ապատիտները բոլոր վերոհիշյալ հանքանյութերի տիպերում ունեն «սելեկտիվ ցերիումական» կազմ, որտեղ ցերիումի խմբի հազվագյուտ-հողային էլեմենտները գերազանցում են լանտանիդների ընդհանուր քանակի 80%-ը:

Հետազոտված ապատիտների ամենաբնորոշ առանձնահատկությունը նրանցում եղած իտրիումի անկանոն վարքագիծն է (մետասոմատիկ փոփոխված անդեզիտային պորֆիրիտներում և տուֆոբեկչիաններում, բրեկչիացված հանքանյութերում և ապատիտ-մագնետիտային երակիկներում), որը բացատրվում է ալկալային մետասոմատոզի երևույթներով (սկապոլիտացում, բիտիտացում և այլն):

Ըստ լանտանիդների վարքագծի և $\Sigma Ce/\Sigma Y$ գործակցի առանձնացվում են ապատիտների երկու զեներացիա՝ ա) ապատիտներ հոծ մագնետիտային հանքանյութից և ապատիտային երակներից, բ) ապատիտներ բրեկչիացված հանքանյութերից, մետասոմատիկ անդեզիտային պորֆիրիտներից և տուֆոբեկչիաններից և ապատիտ-մագնետիտային երակիկներից:

Բոլոր տվյալները վկայում են հանքառաջացման բարձր ալկալիոթյան և միասնական աղբյուրի մասին:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Алимарин И. П., Павлоцкая Ф. И. О выделении редкоземельных элементов в виде оксалатов и фторидов в присутствии большого количества других элементов. Сб. «Редкоземельные элементы», Изд-во АН СССР, М., 1958.
2. Асланян А. Т. Региональная геология Армении. Изд-во «Айпетрат», 1958.
3. Балашов Ю. А. Закономерности распределения редкоземельных элементов в щелочных породах. Автореферат канд. диссертации. ГЕОХИ АН СССР, 1962.
4. Балашов Ю. А., Туранская Н. В. Особенности состава редкоземельных элементов в эвдиалитах и лопаритах Лавозерского массива. Геохимия, № 2, 1960.

5. Бородин Л. С. Корреляционные связи редкоземельных элементов и некоторые особенности их распределения в кальций и церийсодержащих минералах. Труды Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, вып. 7, 1961.
6. Бородин Л. С. О некоторых основных вопросах геохимии редких земель. Сб. «Редкие элементы в массивах щелочных пород». Труды Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, вып. 9, 1962.
7. Вайнштейн Э. Е., Туранская Н. В. и Юлова Ш. Г. О закономерностях в распределении редких земель в некоторых минералах. Геохимия, № 2, 1956.
8. Габриелян А. А. Третичные отложения Котайкского района Армянской ССР. Изд. АН Армянской ССР, 1947.
9. Ганзеев А. А., Ефимов А. Ф., Мухитдинов Г. Н. Редкоземельные элементы в апатитах Вишневых гор. Геохимия, № 3, 1956.
10. Герасимовский В. И., Туранская Н. В. Высокое содержание лантана и церия в минералах апатитовых нефелиновых сиенитов Лавозерских и Хибинских тундр. Геохимия, № 4, 1957.
11. Гинзбург А. И. и др. Геология месторождений редких элементов, вып. 3, 1959. Изд. Госгеолтехиздат.
12. Иванова Т. Н. Апатитовые месторождения Хибинских тундр. Госгеолтехиздат. М., 1963.
13. Сб. «Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах», Изд-во ИЛ, 1952.
14. Семенов Е. И. Связь состава редких земель с составом и структурой минералов. Геохимия, № 5, 1958.
15. Семенов Е. И. Минералогия редких земель. Изд. АН СССР, М., 1963.
16. Семенов Е. И. Изоморфизм и эндокрипция редких земель. Геохимия, № 7, 1957.
17. Тугаринов А. И., Вайнштейн Э. Е. Закономерности распределения редких земель, циркония и гафния в изверженных горных породах. Геохимия редких элементов в связи с проблемой петрогенезиса. Изд. АН СССР, М., 1959.
18. Хомяков А. П. О взаимосвязи между содержанием и составом редких земель в минералах. Геохимия, № 2, 1963.
19. Швей И. В. Геология месторождений редких элементов, вып. 15, 1962. Изд. Госгеолтехиздат.