

**СРЕДНИЕ СОДЕРЖАНИЯ  
ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ  
В МИНЕРАЛАХ**

550.4:519.02

СРЕДНИЕ СОДЕРЖАНИЯ  
ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ  
В МИНЕРАЛАХ

567



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»  
МОСКВА · 1973

Средние содержания элементов-примесей в минералах. М., «Недра», 1973. 208 с. Авт.: Иванов В. З., Белевитин В. В., Борисенко Л. Ф. и др.

В результате обобщения литературного и оригинального аналитического материала по распределению элементов-примесей определены оценки их средних содержаний в главнейших эндогенных минералах (рудные и породообразующие). Рудные минералы оценены в отношении редких и рассеянных элементов (Cd, In, Ga, Tl, Re, Se, Te, Bi, Co, Ni, Ta, Nb, Sc, Pt, Pd и др.), а породообразующие — в отношении редких, рассеянных и малых элементов (Rb, Cs, Li, Be, Ba, Sr, Ga, Tl, Sn, Pb, Zn, Nb, Ta, W, Mo и др.). Фактический материал и оценки средних содержаний элементов-примесей в минералах приведены для отдельных типов пород и месторождений с учетом их региональных особенностей. Обобщение всех частных оценок средних содержаний позволило получить генеральные оценки средних содержаний каждого из элементов в минерале (минеральные кларки). Показаны закономерности изменения содержаний всех элементов-примесей в различных типах рудных месторождений и изверженных пород и рассмотрены возможные пути применения в геологии предлагаемых оценок средних содержаний элементов-примесей в минералах. Книга рассчитана на специалистов, занимающихся изучением геохимии, минералогии и технологии обогащения полезных ископаемых.

Таблиц 107, иллюстраций 12, список литературы — 440 названий.

Авторы: В. В. Иванов, В. В. Белевитин, Л. Ф. Борисенко, А. С. Великий, А. А. Ганзеев, А. Ф. Ефимов, В. С. Иванов, З. Т. Катаева, А. В. Лапин, И. Е. Максимюк, Е. Д. Осокин, Р. В. Панфилов, Н. С. Самсонова, Н. П. Смирнова, Ю. А. Тархов, Н. И. Тихомирова, О. Е. Юшко-Захарова.



Проблема кларков, элементов, как земной коры, так и метеоритов и различных космических тел, представляет труднейшую и притом еще далеко не решенную задачу науки . . .

А. Е. Ферсман. Избранные труды.  
Т. III. М., Изд-во АН СССР, 1955, 373 с.

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение химического состава минералов долгое время являлось одной из главных задач геохимических исследований ИМГРЭ. Эта работа оказалась весьма трудоемкой, особенно при разделении чрезвычайно мелкозернистых и трудно делимых минеральных смесей и контроле чистоты выделения мономинеральных фракций. В течение 15 лет проводились целеустремленные исследования, в результате которых для различных типов руд в лабораториях института был получен большой материал, геологическая привязка и характеристика которого в большинстве случаев достаточно надежная. Тщательно отобранные мономинеральные фракции были проанализированы в лабораториях ИМГРЭ. Основная часть аналитических работ выполнена под руководством И. А. Блюма, В. С. Салтыковой и Е. А. Фабриковой высокочувствительными методами, позволяющими получить количественные оценки содержания элементов. Кроме данных авторов, использовались представительные материалы других исследователей и организаций.

Основное назначение книги — дать оценки средних содержаний различных элементов-примесей в некоторых главных рудо- и породообразующих эндогенных минералах. Цель ее — собрать и систематизировать на определенной геолого-геохимической основе многочисленные разрозненные определения в минералах большого количества элементов-примесей. Эти данные представляют интерес не только для геолого-геохимических исследований как объективные свидетели особенностей процессов минералообразования, но и для практических целей, так как большинство из этих элементов является важнейшим сырьем для различных отраслей техники и сельского хозяйства. Круг рассматриваемых элементов весьма широк. Для рудных минералов это различные редкие и рассеянные элементы, для породообразующих — еще и обычные цветные металлы.

Основной объем книги занимает цифровой фактический материал, представляющий наибольшую ценность. Учитывая спорность многих геологических и генетических построений и характеристик, мы не применяли их при систематизации материала.

Для главных рудообразующих минералов, содержания элементов-примесей в которых подвержены особенно значительным колебаниям даже в однотипных месторождениях, оценки средних содержаний элементов подсчитаны по специально разработанной методике (Родионов, Иванов, 1967). Неравноценность количества информации по разным типам месторождений, минералам и элементам не позволила дать для всех них одинаково надежные статистические оценки средних содержаний. В ряде случаев, ввиду малого количества данных, пришлось ограничиться предварительными оценками. Это относится к некоторым элементам-примесям силикатов и к таким сульфидам, как пентландит, борнит, блеклые руды, пирротин, а также к наиболее слабо изученным элементам — висмуту, серебру, золоту, платиноидам, кобальту, никелю в большинстве минералов.

При выводе оценок средних содержаний элементов мы исходили из известных особенностей их распределения в минералах — различной степени концентрации элементов в различных типах месторождений, в разных провинциях и в различных разновидностях и генерациях минералов. С учетом этого аналитический материал систематизирован по естественным типам пород и руд. Для каждого из них подсчитаны оценки средних содержаний для отдельных провинций, причем приведенные во всех таблицах оценки средних содержаний характеризуют разновидности и генерацию минерала, которая наиболее широко распространена для того или иного типа пород и руд.

Необходимо оговориться, что принятая для объединения фактического материала систематика месторождений хотя и достаточно обоснована геологически, но, однако, в части терминологии далеко не безупречна. В частности, в названиях подтипов месторождений употребляются традиционные температурные характеристики (высоко-, средне- и низкотемпературные). Несмотря на большую условность таких определений, это сделано только потому, что в предшествующих работах ИМГРЭ принята подобная терминология. Это же относится и к принципам разделения магматических пород в пределах главных их петрографических типов. Выделенные группы пород не во всех случаях едины.

В этой работе охарактеризованы наиболее важные и широко распространенные минералы эндогенных рудных месторождений и изверженных пород, но далеко не все минеральные виды. К настоящему времени подсчеты оценок средних содержаний элементов-примесей сделаны не только для этих, но и для некоторых других минералов гранитондов (Ляхович, Овчинников, 1970). Таким образом, скоро мы будем иметь систему геохимических констант, которая необходима для количественной оценки геологических объектов и процессов их формирования при металлогенических, петрографических, минералогических, геохимических и других исследованиях. Не меньший интерес эти оценки будут представлять для технологов и экономистов, интересующихся вопросами комплексной переработки полезных ископаемых и сырьевыми источниками недалекого будущего.

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ СРЕДНИХ СОДЕРЖАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ В МИНЕРАЛАХ

В ряду крупнейших достижений геохимии со времен возникновения этой науки А. Е. Ферсман на одно из первых мест ставит определение характеристик среднего содержания элементов в земной коре (кларков). История этого направления геохимических исследований подробно рассмотрена в трудах А. Е. Ферсмана (1955). Долгое время исследованиям по определению среднего содержания элементов в земной коре и различных ее составляющих не придавалось существенного значения, а работы этого плана считались чисто теоретическими. Значительно позднее было признано большое значение характеристик, полученных Ф. Кларком, Х. Вашингтоном, В. И. Вернадским и их последователями. Можно сказать, что успешное развитие геохимии как самостоятельной науки в значительной степени связано с переходом на количественное описание явлений природы, так как первый чисто качественный этап ее развития, длившийся до начала нашего столетия, лишь подготовил ее становление. Не только где и как, но и сколько — именно такой подход к геологическим явлениям поставил геохимию в число главных наук о земле и определил ее ведущее значение в настоящее время.

Создатель научного направления, целью которого является «мерой и числом» охарактеризовать геологические образования, Ф. Кларк (1874—1931 гг.) с самого начала работ в этой области (1889 г.) поставил задачу о систематическом получении характеристик средних содержаний химических элементов в различных горных породах, почвах, животных, растениях. Позднее А. Е. Ферсман, сыгравший огромную роль в систематизации величин кларков и в разгадке атомистической и геологической природы этих чисел, расширил данную проблему, поставив вопрос о получении оценок средних содержаний элементов для соответствующих геологических объектов отдельно взятых геологических провинций.

В том объеме, как это представлял себе Ф. Кларк и его последователи, проблема кларков в значительной степени в настоящее время уже решена, что видно из работ А. П. Виноградова (1962). В результате напряженного труда большого числа геологов и химиков получены надежные оценки средних содержаний большинства элементов для главных разновидностей изверженных пород, что дало возможность решить многие сложнейшие вопросы петрологии, литологии и исторической геологии. Однако использование имеющихся приближенных характеристик кларков при поисках и оценке полезных ископаемых, и особенно месторождений редких элементов, оказалось малоэффективным, так как характеристики средних содержаний элементов в земной коре в целом и даже в отдельных разновидностях горных пород для практических целей являются слишком обобщенными и не могут служить надежной основой при оценке степени концентрации рудного вещества в различных процессах минералообразования (Иванов, Родионов, 1963). Возрастающее значение геохимии при решении различных вопросов рудообразования привело к необходимости получения оце-

нок средних содержаний элементов в различных типах месторождений, а для элементов, основное количество которых содержится в виде примеси в чужих минералах, — оценок их средних содержаний в этих минералах. Учитывая, что степень концентрации элементов даже в однотипных месторождениях в значительной степени зависит от характера металлогенической провинции, для успешного проведения различных региональных исследований необходимо иметь оценки средних содержаний в соответствующих месторождениях и минералах отдельных геологических провинций — ферсмы (Иванов, 1968). Например, полученные к настоящему времени приближенные характеристики кларков и ферсмов кадмия, индия, таллия и некоторых других элементов позволили перейти к количественной характеристике геохимической истории элементов, к объективной, простой и весьма эффективной относительной и абсолютной оценке степени концентрации полезных ископаемых в различных типах месторождений разных рудных провинций (Беус, 1956; Иванов, 1966; Иванов, Поплавко, Горохова, 1969). В основе этих оценок лежит большой фактический аналитический материал и специальные геологические исследования, но получены они для ограниченного круга элементов и минералов.

Задача настоящего исследования заключается в получении по возможности статистически обоснованных оценок средних содержаний для как можно большего числа элементов, основная масса которых заключена в главных пороодо- и рудообразующих минералах, иными словами, вывода минеральных кларков и ферсмов. При этом круг изучаемых элементов и минералов определялся количеством апробированных аналитических данных и степенью их геологической привязки. Поскольку больше всего специальных исследований проведено для весьма редких элементов (селена, теллура, индия, кадмия, лития, рубидия, бериллия и др.), то именно они и представлены в данной книге наиболее широко.

Известно, что успех любого геохимического обобщения зависит от полноты и надежности геологических представлений, поэтому большое внимание было обращено на рациональную группировку объектов. При этом мы исходили из положения, что наиболее сходные закономерности распределения и величины содержаний любого из элементов характеризуют объекты в пределах одной рудной провинции, образовавшиеся в близких геологических условиях. Проведенная исходя из этих принципов группировка месторождений и изверженных пород, которая лежит в основе всей книги, предельно проста и естественна. Объединение месторождений проведено с учетом реальных минералого-геохимических и геологических особенностей главных продуктивных парагенезисов, с учетом состава и оценки изменения вмещающих пород для каждой рудной провинции отдельно (см. табл. 1). Для изверженных пород принята наиболее общая петрохимическая группировка, с выделением некоторых специфических минералого-геохимических подтипов.

Не меньше внимания было обращено на выявление надежности аналитического фактического материала, чему способствовало то, что большинство данных получено в результате систематических исследований сотрудников ИМГРЭ АН СССР и МГ СССР. Учет всех данных, удовлетворяющих заданным требованиям, и вывод надежных оценок средних содержаний элементов в минералах стал возможен только после того, как был разработан простой статистический метод получения эффективных характеристик средних по совокупности фактических данных различной представительности (Родионов, Иванов, 1967). Он позволяет с относительно небольшой затратой времени получить оценки средних содержаний элементов, обладающие наибольшей точностью из всех возможных оценок для данной совокупности анализов, несмотря на то, что используются данные различных исследователей,

полученные при различных методах опробования и анализа. Поскольку этот метод лежит в основе многих приведенных ниже результатов, кратко остановимся на методе и последовательности подсчетов оценок средних содержаний элементов в минералах.

Пусть  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_m$  — средние арифметические содержания элемента, вычисленные по  $n_1, n_2, \dots, n_i, n_m$  наблюдений (по массиву изверженных пород, месторождению, региону и т. д.), а  $S_1^2, S_2^2, \dots, S_i^2, \dots, S_m^2$  — соответствующие им оценки дисперсий. Если гипотеза о равенстве неизвестных средних не отвергается для всех  $i=1, 2, \dots, m$ , тогда как ряд оценок  $S_1^2, S_2^2, \dots, S_i^2, \dots, S_m^2$  неоднороден, наилучшей оценкой генеральной средней будет величина:

$$\hat{\theta} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{n_i x_i}{S_i^2}}{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{S_i^2}}. \quad (1)$$

Оценки  $S^2$  можно получить с помощью следующего выражения:

$$S_i^2 = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2, \quad (2)$$

где  $x_{ij}$  — наблюдение с номером  $j$  в выборке с номером  $i$ .

Однако во многих опубликованных работах, материалами которых приходится пользоваться, не приведены выборочные значения  $x_{ij}$ , а только максимальный ( $x_{\max}$ ) и минимальный ( $x_{\min}$ ) члены выборки, число наблюдений ( $n_i$ ) и среднее арифметическое ( $\bar{x}_i$ ). Если  $n_i$  не очень велико, то оценить дисперсию в выборке с номером  $i$  можно с помощью так называемого метода размахов (Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов, 1965 г.):

$$S_i^2 = \frac{(x_{\max} - x_{\min})^2}{d_{n_i}^2}, \quad (3)$$

где  $d_{n_i}$  — математическое ожидание размаха в выборке объема, взятой из нормальной совокупности с параметрами 0,1. Величина  $d_{n_i}$  табулирована (Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов, 1965 г.).

Проверку гипотезы о равенстве набора  $m$  неизвестных средних по их приближенным характеристикам  $\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_m$  можно сделать с помощью следующего критерия:

$$\chi_{m-1}^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(\bar{x}_i - \hat{\theta})^2 n_i}{S_i^2}, \quad (4)$$

где  $\hat{\theta}$  — оценка генеральной средней  $\theta$ , определенная по формуле (1). Если проверяемая гипотеза о равенстве средних верна, то число  $\chi_{m-1}^2$  будет представлять собой значение случайной величины, распределенной приблизительно как  $\chi^2$  с  $m-1$  степенями свободы. Поэтому гипотезу о равенстве средних следует отклонить, как противоречащую выборочным данным, если  $\chi_{m-1}^2 > \chi_{q, m-1}^2$ , где  $\chi_{q, m-1}^2$  — допустимое значение при уровне значимости  $q$  (обычно принимается  $q=0,05$ ) и  $m-1$  степенях свободы. Значения  $\chi_{q, m-1}^2$  можно найти в соответствующих таблицах, приведенных в большинстве курсов математической статистики. Если в результате проверки окажется, что  $\chi_{m-1}^2 \leq \chi_{q, m-1}^2$ , то проверяемая гипотеза не противоречит выборочным данным и весь набор сред-

них арифметических  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_m$  можно использовать для получения обобщенной оценки  $\hat{\theta}$ .

Если гипотеза о равенстве средних отклонена, то вычислить обобщенную оценку среднего для всего набора  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$  нельзя и его требуется разделить на статистически однородные группы, т. е. все оценки  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$  располагаются в порядке возрастания:

$$\bar{x}_{i_1} \leq \bar{x}_{i_2} \leq \dots \leq \bar{x}_{i_h} \leq \bar{x}_{i_{h+1}} \leq \dots \leq \bar{x}_{i_m}. \quad (5)$$

Для каждой смежной пары оценок  $\bar{x}_{i_h}, \bar{x}_{i_{h+1}}$  подсчитывают величину

$$\chi_{i_h, i_{h+1}}^2 = \frac{(\bar{x}_{i_h} - \bar{x}_{i_{h+1}})^2}{S_{i_h}^2 + S_{i_{h+1}}^2}, \quad (6)$$

где  $S_{i_h}^2, S_{i_{h+1}}^2$  — оценки дисперсий средних арифметических  $\bar{x}_{i_h}, \bar{x}_{i_{h+1}}$  соответственно. Величина  $\chi_{i_h, i_{h+1}}^2$  при условии, что верна гипотеза о равенстве средних, распределена приблизительно как  $\chi^2$  с одной степенью свободы. Если  $\frac{\min}{h} \chi_{i_h, i_{h+1}}^2 > \chi_{q, 1}^2$ , то из этого следует, что в наборе  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_m$  нельзя объединять ни одной пары оценок. Если же  $\frac{\min}{h} \chi_{i_h, i_{h+1}}^2 \leq \chi_{q, 1}^2$ , то пару оценок  $\bar{x}_{i_h}, \bar{x}_{i_{h+1}}$  для которой достигнут  $\frac{\min}{h} \chi_{i_h, i_{h+1}}^2$ , следует объединить и полученную обобщенную характеристику сравнить с соседними в наборе (5). Такая процедура должна продолжаться до тех пор, пока не будет выполнено неравенство  $\chi_{i_h, i_{h+1}}^2 > \chi_{q, 1}^2$ . В итоге набор оценок  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_m$  будет разделен на статистически однородные группы, для которых можно вычислить оценки  $\hat{\theta}$  с помощью формулы (1). Необходимо отметить, что дисперсию оценки  $\hat{\theta}$  можно установить с помощью следующего уравнения:

$$S_{\hat{\theta}}^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{S_i^2}}, \quad (7)$$

где  $S_i^2$  определяют выражением (2) или (3). Исходя из того, что  $\hat{\theta}$  распределена асимптотически нормально со средним  $\hat{\theta}$ , точность оценки  $\hat{\theta}$  при надежности 0,95 будет

$$\lambda = \pm \frac{1,96}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{S_i^2}}}. \quad (8)$$

Кроме того, преимущества этого метода состоят в том, что он позволяет даже при сравнительно небольшом количестве анализов (начиная с 6—7) вычислить наиболее эффективные оценки средних содержаний, их дисперсии и точность со значительной, заранее заданной надежностью, он дает возможность делать обоснованные выводы о сходстве или различии этих оценок. Оценки, признанные однородными, можно объединять и вычислять для них общие величины, группируя, таким образом, месторождения по любому принципу (генетическому, географическому и т. д.). Это одно из наиболее важных преимуществ метода, так как субъективность, существующая при объединении месторождений только по геолого-генетическим признакам без учета геохимических констант, сводится до минимума.

Одной из важнейших задач проблемы кларков, возникшей сразу же после их получения в начале нашего столетия, была разгадка природы этих величин. Этим занимались многие выдающиеся ученые того времени — Г. Оддо (1914 гг.), В. Гаркинс (1915 г.), Р. Зондер (1923 г.), Ф. Астон (1924 г.), Р. Ниггли (1928 г.), В. М. Гольдшмидт (1930 г.), В. И. Вернадский (1922—1930 гг.), А. Е. Ферсман (1911—1932 гг.). Гаркинс впервые связал величину кларка с устойчивостью ядер атомов и показал, что в земных условиях атомы четных элементов преобладают над нечетными. Ф. Астон доказал, что распространенность элементов в природе определяется энергией связи ядерных частиц (дефектом масс). В настоящее время известно, что космическая распространенность атомов является функцией заряда и массового числа их ядер, а также определяется термоядерной устойчивостью их изотопов. Анализ кларковых величин позволил В. М. Гольдшмидту и А. Е. Ферсману вскрыть причину зонального распределения химических элементов в земной коре и подойти к теоретическому обоснованию полученных закономерностей. Причины существующих закономерностей распределения элементов, охарактеризованных в настоящей работе, весьма многообразны и частично рассмотрены ранее (Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов, 1964).

На примере полученных ранее нами и уточненных в этой книге оценок средних содержаний индия, кадмия, галлия, германия и таллия в сфалеритах, галенитах и некоторых других минералах можно показать, как широко могут применяться предлагаемые константы в геохимии и для характеристик комплексности руд месторождений полезных ископаемых.

Наличие этих величин позволило впервые произвести количественный геохимический анализ закономерностей распределения этих элементов в различных минералах, типах месторождений и рудных провинций. Появилась возможность с минимальными затратами средств на опробование и анализы объективно отобрать наиболее перспективные типы месторождений и конкретные месторождения, представляющие повышенный интерес в отношении каждого элемента. Оценки средних содержаний элементов в отдельных типах месторождений и оценки средних с учетом всех типов месторождений (минеральные кларки) помогли также выявить районы, наиболее благоприятные для концентрации перечисленных элементов в пределах различных геологических территорий (геохимические рудные провинции и районы) и наряду с этим место и условия максимального накопления этих элементов на различных этапах геологической истории и эндогенного рудного процесса. Были выведены геохимические коэффициенты индиеносности, германиеносности, кадмиеносности и т. д., позволившие дать количественную характеристику геохимической истории этих элементов и оценку перспективности в отношении различных типов месторождений и районов (Иванов, 1966; Иванов, Поплавко, Горохова, 1969).

Тогда же была поставлена задача получения статистических оценок средних содержаний для всех других элементов. Для элементов, основное количество которых содержится в рудах в виде собственных минералов, таких как Pb, Zn, Cu, Hg, Au и другие, предполагалось подсчитать оценки средних содержаний в рудах однотипных месторождений с учетом всего мирового материала и отдельно для каждой рудной провинции. Для так называемых рассеянных элементов (Se, Te, Sc и др.), заключенных в основном в рудах в минералах чужих элементов, подсчитывались оценки средних содержаний в минералах также с учетом всех однотипных месторождений и для отдельных провинций.

К настоящему времени выполнена лишь часть намеченного плана — получены статистические оценки средних содержаний рассеянных элементов в минералах, которые рассматриваются в данной книге. Широ-

кое использование этих величин позволит уточнить детали геохимической миграции редких и малых элементов в послемагматическом рудном процессе, а для некоторых элементов дать количественную характеристику закономерностей их поведения в различных звеньях рудного процесса, и главное, разработать геохимические поисковые признаки на руды, обогащенные всеми этими элементами. Появляется также возможность уточнить кларки ряда элементов в различных типах пород и руд. Приводимые ниже новые оценки средних содержаний по индию, кадмию, галлию, германию и таллию в сульфидах, по сравнению с оценками 1965—1966 гг., в большинстве случаев изменились незначительно, однако предпринятые в настоящей работе применительно к рудным минералам статистические методы позволили уточнить некоторые старые и получить ряд новых данных и для этих элементов, что важно для более эффективной оценки качества руд. Одновременно они показывают, что дальнейшее бесплановое увеличение информации для многих элементов в ряде минералов неоправданно, так как не меняет оценки средних содержаний этих элементов в минералах.

### ХАЛЬКОПИРИТ

В странах мира добываются и перерабатываются ежегодно сотни тысяч тонн халькопирита — минерала, на долю которого в производстве меди приходится более 95%. Несмотря на это, химический состав халькопирита до недавнего времени был изучен недостаточно, что не давало возможности наладить эффективное извлечение всех сопутствующих ему элементов-примесей. Это поставило медную отрасль цветной металлургии в число наиболее отстающих в деле комплексного использования минерального сырья. Достаточно сказать, что при переработке некоторых типов халькопиритовых руд ценность извлеченных из недр, но потерянных при металлургическом переделе различных полезных компонентов по стоимости в несколько раз превышает стоимость меди. Халькопирит может содержать повышенные концентрации Re, Ri, In, Se, Te, Ge, Au, Ni, Co, Ag, Cd, Tl, As, Sb, Pt, Pd, Rh, возможно остальных металлов платиновой группы и других элементов. В последние годы выполнено большое число количественных определений элементов-примесей в халькопирите различных типов месторождений. Подавляющее их большинство выполнено в СССР, причем удельный вес ИМГРЭ в этих исследованиях весьма значителен. Наиболее детально изучены халькопириты из следующих типов месторождений: медно-никелевых на селен, теллур, платину, палладий (О. Е. Юшко-Захарова, М. С. Воробьева); медно-колчеданных и колчеданно-полиметаллических на Se, Te, Bi, In, Cd, Ge и другие (М. С. Воробьева, А. А. Гармаш, В. Д. Баранов, Н. Д. Синдеева, Н. В. Петровская); касситерито-халькопирито-сульфидных на In, Se, Te и другие (В. В. Иванов), медно-молибденовые на Se, Te (Н. Д. Синдеева), различных других медных и полиметаллических месторождений на Re, Se, Te, Bi, In, Ge, Pd, Pt, Rh и другие (Б. Ф. Зленко, Н. В. Нечелюстов, В. Н. Горохова, Н. Д. Синдеева, В. В. Иванов, О. Е. Юшко-Захарова, Н. Н. Попова, Э. Ф. Минцер и др.). Значительный вклад в познание деталей химического состава халькопирита, кроме того, внесли С. Т. Бадалов, В. В. Лукс, Н. В. Петровская, О. Е. Звягинцев, Э. Н. Елисеев, А. С. Фарамазян, Т. Г. Родонова и другие отечественные и зарубежные исследователи.

Несмотря на большое число специальных геологических исследований степень изученности различных элементов-примесей в халькопирите весьма неравноценна. Больше всего данных имеется по Se, Te и In, гораздо меньше по Re, Pt, Pd, Bi и только единичные анализы по всем другим элементам. В соответствии с этим для первых трех элементов подсчитаны максимально правдоподобные статистические оценки сред-

них содержаний в халькопиритах различных однотипных месторождений (см. таблицы 1, 2, 3), а для остальных элементов только средние арифметические.

Прежде чем перейти к рассмотрению цифрового материала, необходимо остановиться на некоторых особенностях халькопирита. Известны две природные модификации этого минерала: тетрагональная ( $a_0=5,24$ ,  $b_0=10,30$ ,  $z=4$ ) и недавно установленная в природе кубическая ( $a_0=10,60$  — Hiller, Probsthain, 1956; Будько, Кулагов, 1963). Тетрагональная модификация халькопирита распространена наиболее широко — ею сложены медные руды всех послемагматических медных месторождений. Кубический халькопирит установлен только в медно-никелевых магматических месторождениях. Кристаллохимическое различие указанных модификаций халькопирита определяет специфику их химического состава. В тетрагональный халькопирит предпочтительно входят элементы, образующие устойчивые тетраэдрические халькогениды, такие как In, Ge, Cd, Se, Te, As, Sb, Sn. Состав кубического халькопирита изучен еще недостаточно, однако для него характерен несколько другой спектр элементов (Ni, Co, Pt, Pd, Rh, Se, Te), что, правда, возможно связано не столько с кристаллохимическими, сколько с геологическими особенностями образования этого минерала.

Пределы содержаний (числитель) и коэффициентов концентраций\* (знаменатель) некоторых элементов-примесей в тетрагональном халькопирите следующие (г/т):

In	Ga	Ge	Cd
$\frac{0,04-1500}{0,3-10\ 700}$	$\frac{0,22-73}{0,01-4}$	$\frac{0,5-400}{0,4-290}$	$\frac{60-1260}{600-12\ 000}$
Tl	Se	Te	
$\frac{\text{He обн.} - 33}{0-33}$	$\frac{\text{He обн.} - 950}{0-19\ 000}$	$\frac{\text{He обн.} - 450}{0-450\ 000}$	

Эти же величины для элементов-примесей в смеси кубического и тетрагонального халькопиритов равны (г/т):

Pt	Pd	Rh	Co	Ni
$\frac{\text{Следы} - 3,5}{1-200}$	$\frac{0,5-45}{50-4500}$	$\frac{\text{He обн.} - 0,5}{-}$	$\frac{\text{He обн.} - 150}{0-75\ 000}$	$\frac{\text{He обн.} - 1700}{0-85\ 000}$

Отсюда следует, что наиболее высокие коэффициенты концентрации в халькопирите имеют Te, Se, In, Cd, Ge и Pd.

Ниже кратко рассмотрим главные особенности распространения некоторых более или менее полно изученных элементов в халькопиритах из различных типов месторождений.

Индий встречается в халькопиритах всех изученных типов рудных месторождений (табл. 1), однако его концентрации в каждом из них значительно различаются. Наиболее высокие и выдержанные содержа-

\* Частное от деления содержания соответствующего элемента в халькопирите на кларк этого элемента в земной коре.

## Индий в халькопиритах

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Касситерит-силикат-сульфидные							
Приамурье	Фестивальное . . . . .	38	90	280	190	—	15
Восточное Забайкалье	Шерловогорское . . . . .	7	14	200	111	—	50
Среднее . . . . .		45	14	280	177	180	14
Приморье	Тернистое, Лифудзин, Хрустальное . . . . .	14	170	1129	443	362	15
Якутия	Депутатское, Иллингас, Алысхая, Эге-Хая, Хетаньжа . . . . .	30	100	1500	380	290	49
Северо-Восток СССР	Бол. Каньон, Галимый, Труднинское . . . . .	8	170	750	410	—	133
Среднее . . . . .		52	100	1500	400	365	3,7
Приморье	Силинское . . . . .	10	Не обн.	50	17	—	10
Англия, Боливия	Корнуолл, Ляллагау . . . . .	5	6	58	34	—	19
Среднее . . . . .		15	Не обн.	58	23	20	9,0
Свинцово-цинковые в скарнах							
Средняя Азия	Кургашикан, Орлиная Горка . . . . .	11	6,5	300	88	82	6,5
Алтай	Верхнеубинское, Шемонаихинское . . . . .	9	Не обн.	100	29	21	18,0
Приморье	Николаевское . . . . .	5	Не обн.	47,5	19	—	18,0
Средняя Азия	Алтын-Топкан, Курусай, Чал-Ата . . . . .	25	Не обн.	300	53	26	5
Казахстан	Кызыл-Эспе . . . . .	6	Не обн.	12	2,8	0,8	1,0
Высокотемпературные свинцово-цинковые в сильно измененных силикатных породах							
Средняя Азия	Месторождения Актюзского поля . . . . .	3	4	30	19	—	16
Восточное Забайкалье	Савинское № 5 . . . . .	3	20	100	50	—	51
Среднее . . . . .		6	4	100	35	22	16
Среднетемпературные свинцово-цинковые в гранитоидах, песчаниках, сланцах							
Северо-Восток СССР	Кутинское . . . . .	2	100	250	175	—	186
Япония	Ойцуми . . . . .	19	Не обн.	250	80	—	33
Среднее . . . . .		21	Не обн.	250	89	83	28
Средняя Азия	Боорду, Чукур-Джилга, Такели . . . . .	3	2	36	18	—	22

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Колчеданно-полиметаллические							
Забайкалье, Кавказ	Кадаинское, Буронское, Гюмушханское, Шаумян-Халаджинское . . . . .	9	Не обн.	90	41	42	23
Салаир	Спорное . . . . .	5	16	22	19	—	2,2
Среднее . . . . .		14	Следы	90	33	21	2
Алтай	Зыряновское, Лениногорское, Березовское, Тишинское, Белоусовское, Золотушинское . . . . .	28	Не обн.	15	4	4	1,2
Медноколчеданные							
Урал	Красногвардейское, им. III Интернационала, Маукское, Южное, Учалинское, Гайское, Комсомольское, Сибайское, Левиха XIV, им. XIX партсъезда . . . . .	101	Не обн.	110	18	11	2

ния индия характерны для касситерито-силикато-сульфидных месторождений (Иванов, Тархов, Максимюк, 1967).

В табл. 1 приведены новые уточненные статистические оценки средних содержаний индия в халькопирите различных типов месторождений. Из сравнения их с прежними данными (Иванов, 1966) видно, что они изменились весьма незначительно, однако в большинстве случаев оценки, принимавшиеся ранее однородными для всех месторождений данного типа, при статистической обработке материала распались на несколько групп, как правило, характеризующих однотипные месторождения различных районов. Таким образом, вывод о том, что на степень концентрации любого элемента-примеси в рудах, в том числе и индия, влияет не только тип минерализации, но и общие металлогенические особенности рудной провинции, подтвердился статистически. Для наиболее обогащенного индием халькопирита из касситерито-силикато-сульфидных месторождений каждая из провинций характеризуется своей оценкой среднего. Это самые богатые индием халькопириты из месторождений Северо-Востока и Дальнего Востока СССР ( $\hat{\theta}=365$  г/т), затем некоторые месторождения Приамурья и Восточного Забайкалья ( $\hat{\theta}=180$  г/т) и, наконец, единичные месторождения с наиболее низкими содержаниями In ( $\bar{x}=34$  г/т) Англии, Боливии и СССР (см. табл. 1). Детально вопрос о закономерностях распространения индия в халькопиритах касситерит-силикат-сульфидных месторождений СССР рассмотрен в специальной работе (Иванов, Тархов, Максимюк). Здесь же отметим, что в месторождениях одной рудной провинции халькопириты характеризуются близкими величинами индиенности, причем халькопириты раннего пирротинового парагенезиса обычно в 1,5—2,5 раза богаче индием по сравнению с поздними разновидностями этого минерала из карбонатно-сульфидной ассоциации. Например, для Якутии в первых содержания индия изменяются от 470 до 1500 г/т, а во вторых — от 220 до 320 г/т. От степени развития в рудах той или иной

генерации халькопирита и зависит, как правило, величина среднего содержания индия в медном концентрате.

Среднее содержание индия в халькопирите свинцово-цинковых месторождений, залегающих в скарнах, с учетом месторождений Дальнего Востока, Средней Азии и Мексики (Иванов, Родионов, Тархов, 1963; Иванов, 1966), равно 20 г/т. Так как набор оценок для рассматриваемого типа месторождений (см. табл. 1) оказался неоднородным, получено две оценки, существенно отличающиеся по величине: 26 г/т — для некоторых месторождений Средней Азии, Рудного Алтая и Приморья и 0,8 г/т — для ряда месторождений Казахстана и Средней Азии. Последняя величина является наименьшей для халькопиритов вообще. В свинцово-цинковых месторождениях, залегающих в сильно измененных (иногда скарнированных) породах, предварительным среднее содержание индия в халькопиритах, судя по месторождениям Актюзского (Средняя Азия) и Кличкинского (Восточное Забайкалье) рудных полей, почти не отличается от оценки для скарновых месторождений (см. табл. 1). Оценка среднего содержания индия в халькопирите средне-температурных свинцово-цинковых месторождений, залегающих в различных силикатных породах месторождений Кутинское (Якутия) и Ойцуми (Япония), равна 83 г/т, а для месторождений Средней Азии и Казахстана, по-видимому, ниже (см. табл. 1).

Для медно-цинково-колчеданных месторождений получена единая статистическая оценка среднего содержания индия в халькопирите (11 г/т), которая лишь немногим ниже среднего арифметического (15 г/т, Иванов, 1966). Колчеданно-полиметаллические месторождения отличаются от колчеданных более неравномерным распределением индия в халькопирите. Для них обособились две группы месторождений: месторождения Кавказа и Салаира (21 г/т) и резко отличающиеся месторождения Рудного Алтая (4 г/т).

Распределение индия в халькопирите остальных типов месторождений охарактеризовано единичными анализами. По прежним оценкам (Иванов, 1966) среднее его содержание составляют (г/т): медно-никелевые — 2; медно-молибденовые — 20; медистые песчаники — 2.

Селен. Оценки средних содержаний селена в халькопиритах различных месторождений в литературе отсутствуют, что вовсе не оправдано, так как количество анализов достаточно велико. Среднее содержание этого элемента меняется в халькопиритах различных типов месторождений весьма значительно (см. табл. 2). Однако на эту величину в значительной степени влияет характер металлогенической провинции.

Как видно из табл. 2, оценка среднего содержания селена в халькопирите для всех медно-никелевых месторождений СССР может быть принята в 45 г/т при размахе значений средних от 23 г/т (печенгские месторождения) до 76 г/т (Норильская группа).

Более значительно от этой величины отличается содержание селена в халькопирите из Седбери (84 г/т) и Талнаха (88 г/т). При этом содержание селена в кубическом халькопирите из Талнаха оказалось гораздо более высоким (124 г/т).

Оценка средних содержаний селена в халькопирите медных месторождений, залегающих в скарнах (Красноярский край), не надежна. Для медно-молибденовых месторождений содержания его гораздо выше, но оценка среднего содержания не может быть признана однородной и для разных районов значительно отличается.

Свинцово-цинковые месторождения, залегающие в скарновых карбонатных породах, отличаются самыми низкими оценками средних содержаний селена в халькопирите. Общая оценка среднего содержания для всех них не превышает 3 г/т. Сходные с ними высокотемпературные свинцово-цинковые месторождения, приуроченные к сильно изме-

Таблица 2

## Селен в халькопиритах

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
<b>Медно-никелевые</b>							
Таймыр	Норильское . . . . .	9	20	128	76	—	24
Кольский п-ов	Мончегорское . . . . .	22	20	105	42	—	10
	Печенгское . . . . .	9	10	38	23	—	5,8
Среднее . . . . .		40	10	128	45	45	1,5
Канада	Садбери . . . . .	4	33	165	84	—	62
<b>Медно-молибденовые в скарнах</b>							
Красноярский край	Юлия Медная, Глафира, Киялых-Узень . . . . .	18	Не обн.	180	34	17	15
	<b>Медно-молибденовые</b>						
Средняя Азия	Кальмакыр . . . . .	29	Не обн.	951	101	50	24
	Сары-Чеку . . . . .	17	40	240	116	—	27
Среднее . . . . .		46	Не обн.	951	106	101	5
Кавказ	Каджаран . . . . .	46	30	480	235	205	28
	Айгедзор . . . . .	2	260	430	350	—	211
	Агарак . . . . .	3	70	210	140	—	95
	Дастакерт . . . . .	2	—	—	30	—	—
Среднее . . . . .		53	30	480	226	205	4
<b>Свинцово-цинковые в скарнах</b>							
Средняя Азия .	Алтын-Топкан, Курусай I, Орлиная Горка, Кургашин-кан и др. . . . .	24	Не обн.	88	10	3	2
Казахстан	Батыстау, Карагайлы . . . . .	8	Не обн.	10	2	—	2,4
Приморье	Николаевское, Тетюхе . . . . .	3		Не обн.			
Среднее . . . . .		35	Не обн.	88	7	3	0,49
<b>Медноколчеданные</b>							
Урал	Красногвардейское, Маукское, им. III Интернационала, Карабаш, Учалинское, им. XIX партсъезда, Комсомольское, Гайское . . . . .	69	Не обн.	520	77	91	19
Болгария Закавказье	Радка, Елшице . . . . .	8	14	185	90	92	28
	Шамлугское, Тогоналинское . . . . .	32	4	240	80	—	20
Северный Кавказ	Уруп, Скалистое . . . . .	3	52	140	97	—	60
Саяны	Маинское . . . . .	3	40	110	63	—	47
Среднее . . . . .		115	Не обн.	520	79	91	2,18

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Колчеданно-полиметаллические							
Кавказ	Газлинское, Гюмушканское, Шаумян-Халджинское . . . . .	6	Не обн.	37	6	—	12
Алтай	Зырянское, Березовское, Белоусовское, Самарское, Золотушинское, Ново-Золотушинское . . . . .	24	Не обн.	80	10,6	7,8	2,6

ненным силикатным породам, охарактеризованы единичными анализами для месторождений Кличкинского района (Восточное Забайкалье) и Брокен-Хилл (Австралия). Оценка среднего содержания для них не надежна, но, вероятно, не превышает 3—8 г/т.

Надежна оценка среднего содержания селена в халькопирите из медно-цинково-колчеданных месторождений, которые наиболее детально изучены на примере Урала (Синдеева, Воробьева, 1966). Все изученные месторождения Урала, Закавказья, Северного Кавказа и Болгарии характеризуются оценкой среднего содержания, равной 91 г/т. Колчеданно-полиметаллические месторождения, наоборот, в различных районах характеризуются различными средними содержаниями селена в халькопирите (см. табл. 2). Причем, наиболее высокие из них приурочены к халькопиритам месторождений с наибольшей ролью медного парагенезиса (Гармаш, 1960).

**Теллур.** Распределение теллура в халькопиритах из различных типов месторождений сходно с распределением селена и в то же время обладает некоторыми различиями. Среднее содержание теллура в халькопиритах из медно-никелевых руд колеблется в довольно широких пределах — от 3 (Мончегорск) до 22 г/т (Норильск) при единой оценке для всех изученных месторождений, равной 13,4 г/т. Медно-молибденовые месторождения, залегающие в скарнированных породах, охарактеризованы недостаточным количеством анализов, согласно которым полученная оценка среднего содержания равна 45 г/т. Халькопирит из медно-молибденовых месторождений, залегающих в гранитоидах, изучен более детально и не может быть охарактеризован одной статистической оценкой среднего в связи с тем, что по имеющимся данным месторождения различных районов резко отличаются по содержаниям теллура в халькопирите.

Скарновые свинцово-цинковые месторождения, по-видимому, содержат самое низкое количество теллура. Ненадежная оценка среднего для этого типа в целом равна 4 г/т. Медно-колчеданные месторождения, наоборот, обогащены теллуrom, распределение которого, так же как и селена, хорошо изучено для уральских месторождений (Воробьева, Синдеева, 1966). Статистически получены три оценки среднего содержания теллура в халькопирите: первая (34 г/т) характеризует месторождения Кавказа и некоторые месторождения Урала, вторая (97 г/т) — Урала, третья — Болгарии (табл. 3).

Распределение теллура в колчеданно-полиметаллических месторождениях показано только на примере Рудного Алтая (Гармаш, 1960; Гармаш, Курбанова, 1963; Баранов, 1963). Данные по другим районам весьма ограничены. Оценки среднего для типа в целом — 14 г/т. В заключение необходимо отметить, что резкое увеличение концентраций

Таблица 3

## Теллур в халькопиритах

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \Delta$
			от	до	среднее		
Медно-никелевые							
Таймыр	Норильское . . . . .	9	12	36	21	—	6,2
Кольский п-ов	Печенгское . . . . .	9	Следы	8	4	—	2,1
	Мончегорское . . . . .	22	1	8	3	—	0,7
Среднее . . . . .		40	Следы	36	6	3,4	0,65
Медно-молибденвые в скарнах							
Красноярский край	Юлия Медная, Глафира, Киялых-Узень . . . . .	14	Не обн.	117	43	45	20
Медно-молибденовые							
Средняя Азия	Кальмакыр . . . . .	29	Не обн.	217	19	18	13
	Сары-Чеку . . . . .	17	6	80	16	—	10
Среднее . . . . .		46	Не обн.	217	18	18	2
Кавказ	Каджаран . . . . .	46	12	600	85	71	11
	Агарак . . . . .	3	17	45	27	—	17
	Дастакерт . . . . .	2	9	31	20	—	28
Среднее . . . . .		51	9	600	79	70	1,7
Свинцово-цинковые в скарнах							
Средняя Азия	Алтын-Топкан, Курусай I, Орлиная горка, Кургашинокан	24	Не обн.	70	4	3,4	4
Казахстан	Батыстау . . . . .	3	Следы	—	—	—	—
Приморье	Тетюхе, Николаевское . . . . .	3	Не обн.	—	—	—	—
Медноколчеданные							
Урал	Гайское, Маукское . . . . .	27	Не обн.	112	35	35	12
Закавказье	Шамлугское, Тогоналинское . . . . .	33	5	230	24	—	18
	Скалистое, Урупское . . . . .	3	14	28	19	—	11
Северный Кавказ	Саяны	2	1	20	10	—	24
Среднее . . . . .		65	Не обн.	230	28	34	2
Урал	Красногвардейское, им. III Интернационала, Карабашское, Учалинское, им. XIX партсъезда, Комсомольское . . . . .	41	Не обн.	450	99	97	33
Болгария	Радка, Елшице . . . . .	8	90	260	167	187	43
Колчеданно-полиметаллические							
Алтай	Золотушинское, Ново-Золотушинское, Зыряновское, Греховское, Снегиревское, Александровское, Тишинское, Лениногорское . . . . .	83	Не обн.	125	19	14	1,1
Кавказ	Гачминское, Шаумян-Халджинское . . . . .	3	Не обн.	50	16	—	3,5
Среднее . . . . .		86	Не обн.	125	18	14	0,1



теллура в халькопирите любых типов месторождений связано с появлением его собственных минералов, которые обычно начинают устлавливаться в шлифах при содержании Те от 30—50 г/т и выше.

Кадмий. Первые сведения о наличии кадмия в халькопиритах были получены в касситерито-силито-сульфидных месторождениях, в которых его содержание колеблется в интервале от 5 до 170 г/т (Иванов, 1961). В табл. 4 приведены оценки средних содержаний кад-

Таблица 4

Кадмий в халькопирите

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\sigma}$	$\pm \Delta$
			от	до	среднее		
<b>Свинцово-цинковые в скарнах</b>							
Средняя Азия	Алтын-Топкан, Орлиная Горка, Кургашикан, Таш-Булак и др. . . . .	5	40	400	90	—	150
Алтай	Верхнеубинское, Покровское, Шемонаихинское . . . . .	10	Не обн.	170	69	—	36
Среднее . . . . .		15	Не обн.	400	76	70	32
<b>Среднетемпературные свинцово-цинковые в гранитоидах, песчаниках и сланцах</b>							
Средняя Азия	Янги-Кан, Тары-Экан . . .	2	Не обн.	20	10	—	25
Кавказ	Мериси, Айязорское . . .	2	90	1200	645	—	1370
Япония	Ойцуми . . . . .	13	5	20	8	—	1,9
Среднее . . . . .		17	Не обн.	1200	83	8	2
<b>Медно-колчеданные</b>							
Урал	Красногвардейское, им. III Интернационала, Южное . . . . .	8	Не обн.	30	20	—	6,5
Саяны	Маинское . . . . .	3	30	400	150	—	237
Среднее . . . . .		11	Не обн.	400	55	20	7
<b>Колчеданно-полиметаллические</b>							
Алтай	Белуосовское, Борисовское, Ново-Борисовское, Зыряновское . . . . .	28	Не обн.	2000	525	270	196

мия в халькопиритах из некоторых типов месторождений. Они основаны на весьма незначительном количестве анализов и не надежны. Наиболее высокие концентрации кадмия по этим данным характерны для халькопиритов из колчеданно-полиметаллических и свинцово-цинковых месторождений, залегающих в скарнах.

Распределение всех остальных встречающихся в халькопирите элементов-примесей охарактеризовано еще меньшим количеством анализов, чем кадмий. Приведенные ниже оценки средних содержаний этих элементов в халькопирите следует рассматривать как предварительные, нуждающиеся в подтверждении. Большинство из них являются средними арифметическими, но так как это первые характеристики содержаний

упомянутых элементов в халькопирите, их целесообразно учитывать при дальнейших исследованиях. Работами последних лет (Бадалов и др., 1966; Иванов, Поплавко, Горохова, 1969) установлено, что халькопирит является минералом-концентратором рения. Подсчитанные нами средние арифметические оценки для содержаний рения в халькопирите из медно-молибденовых и медноколчеданных месторождений существенно различны, причем первая из них в 2,5 раза выше, чем вторая (табл. 5). Исключительно высокие концентрации рения обнаружены в

Таблица 5

Рений в халькопирите

Район	Месторождение	Количество анализов	Содержание г/т	$\pm\lambda$
Медно-никелевые				
Таймыр	Талнахское . . . . .	3	0,5	—
Медно-молибденовые				
Кавказ, Средняя Азия	Каджаран, Дастакерт, Парагачай, Коунрад, Кальмакыр, Сары-Чеку . . . . .	34	Не обн. 6,0 (1,60)	0,33
Медноколчеданные				
Кавказ, Урал	Алмалык, Кафан, Алаверды, Уруп, Скалистое, Хандиза, им. III Интернационала, Бурон, Дегтярка, Карабаш . . . . .	11	Не обн. 1,2 (0,62)	0,33

Примечание. В скобках среднее арифметическое.

халькопирите из некоторых месторождений медистых песчаников, которые для некоторых месторождений составляют от 5 до 75 г/т (среднее 29 г/т) и сопровождаются появлением минерала рения — джезказганита.

Большой интерес представляет наличие в халькопирите элементов платиновой группы, на что впервые обратил внимание О. Е. Звягинцев (1936), установивший повышенные содержания в этом минерале суммы платиновых металлов. Наши отдельные определения палладия и родия в халькопиритах (Юшко-Захарова и др., 1967) подтвердили эти данные (табл. 6, 7 и 8). Из рассматриваемых элементов платиновой группы палладий наиболее распространен в халькопирите (см. табл. 6). Его самые высокие содержания во всех случаях отвечают медно-никелевым рудам. Среднее содержание палладия в различных месторождениях этого типа весьма непостоянное и изменяется от 0,1 до 26 г/т, причем оценки средних во всех случаях надежны. Когда концентрации палладия в халькопирите из медно-никелевых руд повышенные, обнаруживаются мельчайшие включения минералов палладия. Халькопирит из всех остальных типов гидротермальных месторождений значительно беднее палладием. Несмотря на это он постоянно встречается в медных рудах и представляет безусловно интерес. Среди послемагматических месторождений относительно обогащены Pd медные руды в скарнах (0,088 г/т). За ними, возможно, следуют медноколчеданные месторождения, точность оценки среднего для которых мала ( $0,051 \pm 0,033$  г/т), а затем уже все другие типы медных руд (см. табл. 6).

Оценки средних содержаний платины в халькопирите приведены в табл. 7, точность их во всех случаях очень мала. Если судить по имеющимся данным, то повышенными концентрациями платины, возможно, характеризуются халькопириты из медно-никелевых и медноколчеданных руд.

Таблица 6

## Палладий в халькопирите

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			±λ
			от	до	$\bar{x}$	
Медно-никелевые						
Кольский п-ов Таймыр	Мончегорское . . . . .	12	Не обн.	12	3,5	2,08
	Печенгское . . . . .	5	Не обн.	0,5	0,1	0,1
	Норильское . . . . .	4	10	45	26	26
	Талнахское . . . . .	6	26	96	50	20
Медные в скарных						
Средняя Азия, Болгария	Южно-Янгиканское, Бозымчак, Малко-Тырново . . . . .	8	0,016	0,047	0,088	0,028
Медно-молибденовые						
Казахстан, Кавказ, Болгария	Коунрад, Каджаран, Медет . .	4	0,031	0,35	0,051	0,033
Медноколчеданные						
Урал	Шмидта, Блявинское, Карабаш	5	0,02	0,049	0,031	0,009
Колчеданно-полиметаллические						
Кавказ, Рудный Алтай	Маднеули, Ахтала, Лениногорское . . . . .	5	0,026	0,05	0,03	0,004

Таблица 7

## Платина в халькопирите

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			±λ
			от	до	$\bar{x}$	
Медно-никелевые						
Кольский п-ов Таймыр	Мончегорское . . . . .	12	Не обн.	2,2	0,5	0,38
	Печенгское . . . . .	5	Не обн.	0,10	0,05	0,03
	Норильское . . . . .	4	Следы	3,5	2,0	1,8
	Талнахское . . . . .	6	4	50,0	17,0	5,6
Медные в скарнах						
Средняя Азия, Болгария	Южно-Янгиканское, Бозымчак .	8	Не обн.	0,11	0,023	0,028
Медно-молибденовые						
Казахстан, Кавказ, Болгария	Коунрад, Каджаран, Медет . .	4	Не обн.	0,22	0,09	0,1
Медноколчеданные						
Урал	Шмидта, Блявинское, Карабашское . . . . .	5	Не обн.	0,18	0,073	0,069
Колчеданно-полиметаллические						
Кавказ, Рудный Алтай	Маднеули, Ахтала, Лениногорское . . . . .	5	Не обн.	0,14	0,05	0,02

## Родий в халькопиритах

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			±λ
			от	до	$\bar{x}$	
Медно-никелевые						
Кольский п-ов, Таймыр	Мончегорское . . . . .	7	Не обн.	1,0	0,3	0,17
	Печенгское . . . . .	4	Не обн.	0,1	0,02	0,015
	Норильское . . . . .	4	Не обн.	0,5	0,15	0,13
Медные в скарнах						
Болгария	Малко-Тырново . . . . .	4	0,027	0,037	0,015	0,01
Медно-молибденовые						
Казахстан, Кавказ, Болгария	Коунрад, Каджаран, Медет . . .	4	0,03	0,056	0,036	0,01
Медноколчеданные						
Урал	Шмидта, Блявинское, Карабашское . . . . .	5	0,02	0,035	0,031	0,003
Колчеданно-полиметаллические						
Кавказ, Рудный Алтай	Маднеули, Ахтала . . . . .	5	0,02	0,03	0,025	0,003

Содержания родия в халькопирите близки к содержаниям платины (см. табл. 8). Наиболее высокие его концентрации характерны для некоторых месторождений медно-никелевых руд. При этом все оценки средних мало точны, так как основаны на недостаточном количестве анализов.

Единичные определения остальных элементов платиновой группы в халькопиритах из медно-никелевых руд Талнахского месторождения, выполненные авторами данной книги, показывают следующие их средние содержания (из 5 анализов, г/т); осмий — 0,07, рутений — 0,09, иридий — 0,08.

Аналогичным образом приведенные в табл. 9 оценки средних содержаний висмута в халькопирите подсчитаны по единичным месторождениям, тем более что в связи с наличием минералов висмута имеет место большой разброс его содержаний даже в халькопиритах одного и того же месторождения и рудного тела.

Наиболее высокие содержания висмута характерны для грейзеновых молибденит-вольфрамитовых месторождений. Так, например, оценка среднего для халькопирита месторождения Кара-Оба, подсчитанная по данным Н. Н. Поповой, Э. Ф. Минцера, Г. Н. Нечелюстова, составляет 1265 г/т. Для всех остальных типов месторождений эта величина на порядок ниже, но несмотря на это висмут в их медных рудах несомненно представляет практический интерес. Вероятно, самыми низкими содержаниями висмута характеризуются халькопириты из медно-никелевых магматических и железорудных и медных скарновых руд. По данным Л. Н. Овчинникова (1960), среднее содержание висмута в халькопиритах из уральских скарновых месторождений не превышает 2 г/т.

Кроме охарактеризованных выше, халькопирит, как уже отмечалось, содержит примесь других элементов. Сведения о них еще более ограничены (табл. 10).

Таблица 9

## Висмут в халькопирите

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	$\bar{x}$		
Молибденгето-вольфрамитовые грейзены							
Казахстан	Кара-Оба . . . . .	7	130	3000	1330	1265	490
Полиметаллические в скарнах							
Алтай	Верхнеубинское, Покровское, Шемонаихинское .	9	32	300	114	115	49
Медно-молибденовые							
Средняя Азия	Кальмакыр . . . . .	35	Не обн.	500	76	—	44
Медноколчеданные							
Урал	Им. III Интернационала, Южное, Гайское, Маукское . . . . .	29	Следы	1250	86	45	4
Колчеданно-полиметаллические							
Алтай	Зырянское, Греховское, Снегиревское, Тишинское и др. . . . .	15	Не обн.	800	70	17,5	12
Среднетемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
Япония	Ойцуми . . . . .	19	Не обн.	800	65	—	106

Таблица 10

## Оценки средних содержаний таллия, галлия и германия для некоторых типов месторождений

Тип месторождения	Содержание, г/т		
	Tl	Ga	Ge
Среднетемпературные свинцово-цинковые месторождения в силикатных породах . . . . .	1	—	2
Медноколчеданные . . . . .	5	5	4
Колчеданно-полиметаллические . . . . .	5	3	2

Для халькопиритов некоторых типов месторождений характерны повышенные концентрации кобальта и никеля (табл. 11).

Таблица 11

## Кобальт и никель в халькопиритах

Тип месторождения	Содержание, г/т	
	Co	Ni
Медно-никелевые . . . . .	Не обн.—1400	Следы—900
Железорудные и медные скарны Урала . . . . .	Не обн.—8300 (300)	Не обн.—1500 (100)
Касситерит-силикат-сульфидные Якутии . . . . .	Следы—170	Следы—500

Примечание. В скобках среднее арифметическое.

Содержание серебра изменяется в еще более значительных пределах (Иванов, 1964; Воробьева, Синдеева, 1966; Попова, Нечелюстов, Розина, 1966) и сопровождается появлением при повышенных концентрациях серебряных минералов (г/т):

Медно-никелевые Сибирь . . . . .	46—260 (120)
Молибденит-вольфрамитовые Казахстана . . . . .	3—1070
Касситерит-силикат-сульфидные Якутии . . . . .	5—9150
Медноколчеданные Урала . . . . .	112—407
Железорудные и меднорудные скарны Урала . . . . .	Не обн.—4(2,7)
Свинцово-цинковые в сильно измененных силикатных породах Средней Азии и Забайкалья . . . . .	(222)
Свинцово-цинковые в скарнах . . . . .	(316)
Свинцово-цинковые в измененных силикатных породах . . . . .	(453)
Свинцово-цинковые в измененных эффузивно-осадочных породах . . . . .	(222)
Свинцово-цинковые в неизмененных силикатных породах . . . . .	(91)

Примечание. В скобках среднее арифметическое.

Интересные данные получены по распределению в халькопиритах золота. Прикидочные оценки средних содержаний этого элемента, основанные на спектрохимическом изучении весьма ограниченного числа образцов, приведены в табл. 12.

Таблица 12

Золото в халькопиритах

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			±λ
			от	до	$\bar{x}$	
Медно-никелевые						
Кольский п-ов	Мончегорское . . . . .	12	0,04	2,50	0,44	0,16
Таймыр	Норильское, Талнахское . . . . .	6	0,4	7,2	1,7	—
Медные в скарнах						
Болгария	Малко-Тырново . . . . .	4	2,0	3,0	2,5	—
Медноколчеданные						
Урал	Карабаш, Шмидта, Блявинское	5	Не обн.	0,8	0,37	0,34
Колчеданно-полиметаллические						
Кавказ, Алтай, Болгария	Ахтала, Маднеули, Лениногорское, Золотушинское, Березовское, Зыряновское, Белоусовское . . . . .	12	0,08	25	5,08	4,20

Хотя эти оценки и мало точны, но указывают на постоянное присутствие золота в халькопиритах изученных месторождений, причем в колчеданно-полиметаллических рудах содержание его особенно велико.

ГАЛЕНИТ

Главный минерал свинцовых руд галенит, как известно, является минералом-концентратором большого числа важных элементов-примесей. Кроме Ag, в нем постоянно содержатся Se, Te, Tl, Bi, Cd, In, Sb и другие элементы.

В структурном отношении галенит принадлежит к числу соединений, обладающих гранцентрированной кубической решеткой и шестер-

ной координацией Me — S. Размер элементарной ячейки галенита довольно близок к размеру некоторых халькогенидов Se, Te, Bi и Ag, с чем и связана весьма частая обогащенность галенита перечисленными элементами.

Наибольшее количество детальных исследований состава галенита выполнено за последние годы в ИМГРЭ по следующим типам месторождений: в свинцово-цинковых высокотемпературных в сильно измененных силикатных породах и скарпах (Н. В. Нечелюстов, Э. Ф. Минцер, Г. М. Мейтув, Н. Н. Попова, В. В. Белевитин); в среднетемпературных свинцово-цинковых в карбонатных и силикатных породах (К. Ф. Кузнецов, В. В. Иванов, Г. М. Мейтув, Н. А. Читаева), в колчеданно-полиметаллических (А. А. Гармаш, В. Д. Баранов); в свинцово-цинковых низкотемпературных в карбонатных породах (В. В. Иванов, О. Е. Юшков-Захарова). Из советских ученых большой вклад в познание распределения элементов-примесей в галените внесли С. Т. Бадалов, Б. И. Вейц, Т. В. Иваницкий, М. Р. Еникеев, Ю. С. Нестерова, Н. Д. Синдеева и многие другие, а из зарубежных — Б. Богданов, И. Минчева-Стефанова, Р. Димитров, Ч. Харанчик, И. Офтедаль, Э. Шроль, Е. Шацли, К. Таканаши и др.

Работами перечисленных исследователей установлено, что независимо от формы нахождения содержание редких элементов зависит от геологических условий формирования руд и меняется в различных типах месторождений. Величина концентрации элементов-примесей изменяется вполне закономерно и может быть использована для решения вопроса о генезисе месторождений. Знание средних содержаний этих элементов в галените разного типа месторождений также необходимо для их эффективной перспективной оценки, в качестве промышленного источника редких элементов, а также для наиболее правильного учета запасов элементов-примесей, связанных с этим минералом в недрах. Попытки вывести значения средних содержаний редких элементов в галените отдельных месторождений делались неоднократно, однако самого главного — сравнительной статистической оценки величин концентрации элементов в однотипных объектах не производилось в связи с отсутствием достаточного количества аналитического материала и простых статистических методов сравнения цифрового материала разной представительности.

В настоящее время оба эти вопроса в значительной степени решены, и можно подсчитать максимально правдоподобные статистические оценки средних содержаний в галените таких элементов, как Se, Te, Tl, Bi и некоторых других.

Эффективность примененного статистического метода хорошо видна при сравнении оценок средних содержаний таллия, полученных ранее как среднее арифметическое (Иванов, 1966) и статистическим методом. Так, прежняя оценка среднего содержания в галените из высокотемпературных свинцово-цинковых месторождений, залегающих в силикатных породах, равнялось 8 г/т, а новая (табл. 13) максимально правдоподобная —  $10,3 \pm 0,4$  г/т и т. д. Для среднетемпературных свинцово-цинковых месторождений в эффузивно-осадочных, а также для низкотемпературных в карбонатных породах получены не одна, а по две сильно отличающихся оценки, что связано с различными условиями формирования месторождений в пределах каждого из типов, в галените которых не объединились оценки средних содержаний таллия (см. табл. 13).

По-видимому, то же произойдет с общей оценкой среднего содержания таллия в галените из низкотемпературных месторождений, залегающих в силикатных породах (20 г/т). Материала для подсчета наиболее вероятной оценки для всего этого типа в целом недостаточно, но уже по имеющимся анализам видно, что среднеазиатские месторождения содержат таллия значительно больше, чем кавказские и карпатские.

## Таллий в галените

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Высокотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
Восточное Забайкалье	Савинское № 5, Почекуевское, Северная Шахтама, Файтеловское, Кличкинское, Мыльниковско-Хоркиринское, Каменское, Савинское . . . . .	37	1	47	14,2	10,6	2,6
Средняя Азия	Ак-Тюз, Куте-Сай II, Калесай . . . . .	15	Не обн.	50	11,1	6,8	4,9
	Среднее . . . . .	52	Не обн.	50	13,3	10,3	0,4
Мексика	Наика . . . . .	1	—	—	6,0	—	—
Австралия	Брокен-Хилл . . . . .	1	—	—	5,0	—	—
Высоко- и среднетемпературные свинцово-цинковые в скарнах							
Средняя Азия	Алтын-Топкан, Кансай, Курусай, Таш-Гезе, Таш-Булак, Орлиная Горка, Перевальное, Мышик-Кол, Шевчукское, Кургашинокан, Туранглы, Джангалык	114	Не обн.	35	4,6	2,7	0,5
Казахстан	Карагайлы, Гульшад, Акджагал, Верхнеубинское, Батыстау . . . . .	13	Не обн.	100	4,6	4,6	3,6
Приморье	Тетюхе . . . . .	14	Не обн.	29	7,7	7,8	3,8
Мексика	Санта-Езлалия, Санта-Барбара . . . . .	4	Не обн.	5	2,3	2,0	3,6
	Среднее . . . . .	145	Не обн.	100	4,8	2,7	0,05
Среднетемпературные свинцово-цинковые в эффузивно-осадочных толщах							
Рудный Алтай	Самарское, Белоусовское, Текели . . . . .	22	Не обн.	255	50,8	49,8	26,8
Кавказ	Буронское . . . . .	25	14	38	20	—	—
Западная и Юго-Восточная Европа	Мегген, Граувакеер . . . . .	9	Не обн.	100	17	—	—
	Среднее . . . . .	56	Не обн.	255	31,6	24,8	2,3
Рудный Алтай	Березовское, Золотушинское, Лениногорское, Зырянское, Снегиревское, 2-е Греховское, Среднее, Богатыревское . . . . .	65	—	50	4,6	3,5	1,5
Салаир	Слепое, Троицкое, Каменушинское . . . . .	11	—	—	1,0	—	—

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Среднетемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
Средняя Азия	Боорду, Замбарак, Гудас, Ак-Куль, Сардоб, Янги, Кан-и-Мансур, Такели, Кан, Чукур-Джилга . . . .	27	Не обн.	5	0,9	1,7	0,9
Восточное Забайкалье	Кразаргинское, Покровское, Смежное . . . . .	7	Не обн.	6	3	—	—
Кавказ	Садон . . . . .	7	0,7	3	1	—	—
Якутия	Булатское . . . . .	3	Не обн.	5	2	—	—
Болгария	Караалиевское, Пшеничище, Лайково-Чукар, Градище, Маджарово . . . . .	8	1	16	8,4	2,2	1,2
Юго-Восточная Европа	Района Чиме д-Аста, Фрейберг, Пршибрам . . . . .	17	Не обн.	100	3,8	4,1	15,1
Япония	Ойцуми . . . . .	15	Не обн.	7	1,0	—	—
Среднее . . . . .		84	Не обн.	100	2,4	1,4	0,1

Среднетемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах

Восточное Забайкалье	Кадаинское, Запокровское, Гурулевское, Благодатское, Екатерино-Благодатское, Воздвиженское, Акатуевское, Спасское, Центральное, Октябрьское . . . . .	93	Не обн.	700	20	—	—
----------------------	---	----	---------	-----	----	---	---

Низкотемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах

Казахстан	Миргалимсай, Кантаги, Ачисай, Байджансай, Аксуран, Джангильчик, Рюмзак . . . . .	25	Не обн.	80	10,1	4,9	1,2
Польша	Бытом, Болеслав, Яворзино, Хрцанов, Олькуш, Тарновские Гуры . . . . .	23	Следы	40	8,1	6,3	2,0
Среднее . . . . .		48	Не обн.	80	9,1	5,7	0,2

Юго-Восточная Европа	Лафатч, месторождения Северного Триаса, Южных Известковых Альп, Миесс, Бляйберг, Кройт . . . . .	78	Не обн.	50	13,0	13	0,28
----------------------	--	----	---------	----	------	----	------

Низкотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах

Кавказ	Верхняя Квайса, Тхмори, Хвамли, Айгедзорское . . . . .	30	1	16	4	3,4	1,0
Средняя Азия	Такоб, Ак-Куль, Дарайсо, Иокуньж, Лачин-Хана и др. . . . .	14	Следы	200	14	—	—
Карпаты	Берегово, Рахово, Грендеж, Шевчуковское . . . . .	2	—	—	4	—	—

Селен. Оценки средних содержаний селена в галените получены впервые. Они показывают, что содержание его, так же как и теллура в галените из различных даже однотипных месторождений, подвержено значительным колебаниям (табл. 14). При этом отношение  $Se:Te$  меняется в широких пределах от 1:2 в медно-молибденовых, 1:1 — в высокотемпературных месторождениях, залегающих в силикатных породах, до 10:1 в высокотемпературных месторождениях, связанных со скарнами. В целом содержание селена, так же, как теллура и висмута, увеличивается в месторождениях, обогащенных медью, а однотипные месторождения рудных районов характеризуются оценками средних содержаний селена. Так, среднее содержание селена в галените из свинцово-цинковых месторождений в сильно измененных силикатных породах Средней Азии (49,2 г/т) в несколько раз выше, чем эта, правда менее точная, величина для Восточного Забайкалья (16,5 г/т). Наиболее высокое и выдержанное содержание селена в свинцово-цинковых месторождениях, залегающих в скарнах. Величина 124,4 г/т весьма надежная и, по-видимому, может характеризовать галенит этого типа руд в целом, даже несмотря на то, что основное количество анализов выполнено по Средней Азии (Нечелюстов, Попова, Минцер, 1961).

Оценки среднего содержания селена в галените из медно-молибденовых руд не могут считаться надежными, так как получены по единичным месторождениям.

Для рудноалтайских полиметаллических месторождений, охарактеризованных в результате исследований А. А. Гармаша (Гармаш, Курбанова, 1963; Гармаш, Иванов, Кузнецов, 1966), В. Д. Баранова (1963) и других достаточным количеством анализов, статистически обособились три группы месторождений, каждой из которых свойственна только ей присущая величина среднего содержания селена в галените. Все эти оценки значимо различаются, причем наиболее высокая из них (739,1 г/т), являющаяся максимальной для галенитов, характерна для месторождений, относительно богатых медью. Это подтверждает вывод о наличии общей химической связи селена с медью (Мейтув, 1961).

В обедненных медью среднетемпературных свинцово-цинковых месторождениях, залегающих в различных силикатных породах Средней Азии и других районов СССР (см. табл. 14), содержание селена в галените в десятки-сотни раз ниже. Оценка среднего для подавляющего большинства месторождений близка к 2,3 г/т, и лишь некоторые месторождения (Радоп в Болгарии), если судить по малому количеству анализов, характеризуются повышенным содержанием селена в галените.

Среднетемпературные свинцово-цинковые месторождения в карбонатных породах Восточного Забайкалья также имеют очень низкие содержания селена в галените, а низкотемпературные пластовые свинцово-цинковые руды Кара-Тау, если судить по единичным данным, требующим проверки, — несколько повышенные. Наиболее неустойчивые и подчас весьма высокие содержания селена по единичным анализам типичны для галенитов из низкотемпературных свинцово-цинковых месторождений в силикатных породах (см. табл. 14).

Теллур. Распределение теллура в галените по типам месторождений сходно с распределением селена, но имеет и свои особенности. Среднее содержание этого элемента в высокотемпературных свинцово-цинковых месторождениях, залегающих в сильно измененных силикатных породах, так же как и селена, характеризуется двумя оценками: 11,3 г/т для Восточного Забайкалья и 40,6 г/т для Средней Азии. Для свинцово-цинковых руд в скарнах по среднему содержанию теллура в галените выделилось две группы месторождений (для селена одна). Для месторождений Алтын-Топканской и Курусайской групп (Средняя Азия) характерна низкая величина (13,3 г/т) среднего содержания тел-

Таблица 14

## Селен в галените

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Высокотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
Восточное Забайкалье	Савинское № 5, Мыльниковско-Хоркиринское, Кличкинское, Почечуевское, Каменское . . . . .	14	Не обн.	64	18,4	16,5	5,0
Средняя Азия	Актюзское рудное поле . . . . .	138	Не обн.	530	49,2	49,2	0,1
Высоко- и среднетемпературные свинцово-цинковые в скарнах							
Средняя Азия	Алтын-Топкан, Курусай I, Кургашикан, Мышик-Кол, Таш-Булак, Перевальное, Джангалык, Орлиная Горка, Туранглы . . .	216	Не обн.	1780	146,4	124,4	0,5
Приморье	Верхнее, 1-й и 2-й Советские рудники, Николаевское . . . . .	19	Не обн.	830	173,8	89,5	49,0
Восточный Казахстан	Верхнеубинское . . . . .	2	140	880	510	—	—
Мексика	Санта-Барбара . . . . .	1	—	—	620	—	—
	Санта-Еввалия . . . . .	1	—	—	11	—	—
Югославия	Странтрг . . . . .	1	—	—	45	—	—
	Среднее . . . . .	240	Не обн.	1780	151,7	124,4	0,5
Медно-молибденовые							
Средняя Азия	Кальмакыр . . . . .	9	2	260	52,7	15,3	11,9
Кавказ	Каджаран . . . . .	20	20	550	167,8	125,2	39,2
Среднетемпературные свинцово-цинковые (колчеданно-полиметаллические) в эффузивно-осадочных толщах							
Рудный Алтай	Золотушинское, Снегиревское, Иртышское, Тишинское, 2-е Греховское . . . . .	61	Не обн.	8300	1329	739	326
	Белусовское, Лениногорское, среднее . . . . .	113	Не обн.	2700	366	358,6	0,9
	Зыряновское, Богатыревское . . .	55	Не обн.	233	55,7	53,8	13,0
Среднетемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
Средняя Азия	Сардоб, Янги-Кан, Замбарак, Борорду, Чукур-Джилга, Кан-и-Мансур, Ак-Куль, Гудас, Такели, Арсы, Караташ-Котан . . . . .	59	Не обн.	80	5,7	2,3	0,49
Восточное Забайкалье	Покровское, Каразаргинское . . .	4	Следы	6	3,5	—	—
Кавказ	Садон . . . . .	3	2	200	70	—	—
Якутия	Булатское . . . . .	2	1	6	3,5	—	—
	Среднее . . . . .	68	Не обн.	200	8,7	2,3	0,48
Болгария	Пшеничище, Бориева . . . . .	8	Не обн.	103	56,6	68,2	19,6

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \Delta$
			от	до	среднее		
Среднетемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах							
Восточное Забайкалье	Нерчинско-Заводского района и Акатуевского рудного поля . . .	12	Не обн.	26	6,0	3,1	2,6
Низкотемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах							
Казахстан	Миргалымсай, Ачисай, Смена, Байджансай . . . . .	6	Не обн.	47	21,8	27,9	8,7
Низкотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
Средняя Азия	Наугарзан . . . . .	1	—	—	4	—	—
Кавказ	Верхняя Квайса . . . . .	1	—	—	14	—	—
Карпаты	Грендеж . . . . .	1	—	—	20	—	—
Среднее . . . . .		3	4	20	12,7	—	—
Карпаты	Берегово . . . . .	2	100	410	255	—	—

лур, для остальных среднеазиатских, а также приморских и восточно-казахстанских более высокая — 39,3 г/т (табл. 15).

Данных о содержании теллура в галените медно-молибденовых месторождений недостаточно, а оценка среднего содержания для колчеданно-полиметаллических руд Рудного Алтая весьма высока (85,1 г/т). Эта величина характеризует большинство месторождений этого района, за исключением Лениногорского и Тишинского.

Среднетемпературные свинцово-цинковые месторождения всех типов отличаются самыми низкими содержаниями теллура в галените (1,5—1,8 г/т), а данных по низкотемпературным свинцово-цинковым месторождениям еще недостаточно (см. табл. 15).

Висмут. Данных по распределению висмута в галените большинства типов месторождений и провинций недостаточно, и приведенные в табл. 16 оценки являются либо предварительными, либо характеризуют месторождения какого-либо одного района. Наиболее высокие оценки средних содержаний висмута имеют высокотемпературные свинцово-цинковые месторождения, причем в месторождениях, залегающих в скарнах, эти содержания самые высокие. Так, наиболее точная оценка среднего содержания висмута в скарновых месторождениях Азии близка к 1105 г/т. Гораздо более низкие его содержания характерны для различных типов среднетемпературных и совсем низкие для низкотемпературных месторождений. Например, оценка среднего содержания висмута в галените среднетемпературных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных породах, подсчитанная для Восточного Забайкалья, по данным К. Ф. Кузнецова и др. (1966), равна 46,2 г/т, а в галенитах из низкотемпературных свинцово-цинковых руд Каратау висмут вообще не обнаружен. К сказанному необходимо добавить, что при прочих равных условиях в галените из средне- и низкотемпературных месторождений, залегающих в силикатных породах, содержание висмута выше, чем в карбонатных.

## Теллур в галените

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \Delta$
			от	до	среднее		
Высокотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
Восточное Забайкалье	Савинское № 5, Кличкинское, Почекуевское, Мыльниковско-Хоркиринское . . . . .	14	Не обн.	19	7,6	11,3	4,5
Средняя Азия	Актюзское рудное поле . . . . .	154	Не обн.	280	40,6	40,6	0,03
Высоко- и среднетемпературные свинцово-цинковые в скарнах							
Средняя Азия	Алтын-Топкан, Курусай I . . . . .	127	Не обн.	190	13,4	13,2	0,02
Восточный Казахстан Приморье	Кургашикан, Мышик-Кол, Таш-Булак, Джангалык, Перевальное, Туранглы, Орлиная Горка . . . . .	109	Не обн.	2200	101,7	39,3	3,1
	Верхнеубинское . . . . .	3	20	235	155	—	—
	Верхнее, 1-й и 2-й Советские рудники, Николаевское . . . . .	20	Не обн.	330	38	17,5	28
Среднее . . . . .		132	Не обн.	2200	99,0	39,3	3,1
Мексика	Санта-Барбара . . . . .	1	—	—	10	—	—
Югославия	Санта-Евлалия . . . . .	1	—	—	2	—	—
	Стантрг . . . . .	1	—	—	5	—	—
Среднее . . . . .		3	2	10	5,7	—	—
Медно-молибденовые							
Средняя Азия	Кальмакыр . . . . .	9	24	80	43	42,1	7,5
Кавказ	Каджаран . . . . .	18	10	1800	265	137	115
Среднетемпературные свинцово-цинковые в эффузивно-осадочных толщах							
Рудный Алтай	Золотушинское, Снегиревское, Иртышское, 2-е Греховское, Беловусовское, Среднее, Березовское, Зареченское, Богатыревское, Зырянское . . . . .	131	Не обн.	950	95,6	85,1	3,8
		70	Не обн.	300	57	—	—
		2	800	1180	990	—	—
Среднетемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
Средняя Азия	Боорду, Ак-Куль, Арсы, Сардоб, Канджол, Янги-Кан, Такели, Замбарак, Гудас . . . . .	57	Не обн.	24	2,7	1,5	0,33
Восточное Забайкалье	Покровское, Ивановское . . . . .	5	Не обн.	13	4,2	—	—
Кавказ	Садон . . . . .	4	6	10	7,7	—	—
Среднее . . . . .		66	Не обн.	24	3,2	1,7	0,32
Болгария	Караалиевское, Пшеничище, Бориева . . . . .	10	Не обн.	100	39,5	30	7,8
Среднетемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах							
Восточное Забайкалье	Месторождения Нерчинско-Заводского района и Акатуевского рудного поля . . . . .	12	Не обн.	50	14,7	1,8	1,2

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm\lambda$
			от	до	среднее		
Низкотемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах							
Казахстан	Миргалымсай, Северный Кентау, Смена, Байджансай . . . . .	4	Не обн.	19	6,0	—	—
Низкотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
Средняя Азия	Наугарзан . . . . .	1	—	—	Не обн.	—	—
Кавказ	Верхняя Квайса . . . . .	1	—	—	9	—	—
Карпаты	Берегово, Грендеж . . . . .	3	10	50	30	—	—

Таблица 16

Висмут в галените

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm\lambda$
			от	до	среднее		
Высокотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
Средняя Азия	Ак-Тюз, Кутесай II, Кале-Сай . . . . .	113	Не обн.	9600	981	787	122,5
Высоко- и среднетемпературные свинцово-цинковые в скарнах							
Средняя Азия	Алтын-Топкан, Таш-Булак, Мышик-Кол, Орлиная Горка, Туранглы, Курусай I, Кансай, Шевчуковское, Западный Джангалык, Перевальное, Кургашикан . . . . .	146	Не обн.	10 000	1 168	1105	51,6
Казахстан	Верхнеубинское . . . . .	2	160	280	220	—	—
Приморье	Тетюхе . . . . .	13	10	13 000	4 028	3538	2227
Югославия	Странтрг . . . . .	—	100	1 430	700	—	—
Калифорния	Боулдер . . . . .	—	—	—	13 600	—	—
	Эврика Мейн . . . . .	—	—	—	11 200	—	—
Среднетемпературные свинцово-цинковые в эффузивно-осадочных толщах							
Рудный Алтай	Зыряновское, Белоусовское, Лениногорское, Золотушинское, Богатыревское, 2-е Греховское, Снегиревское . . . . .	87	Не обн.	3500	436	332	7
	Тишинское . . . . .	—	—	—	40	—	—
	Змеиногорское, Среднее . . . . .	—	—	—	170	—	—
Среднетемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
Средняя Азия	Боорду, Чукур-Джилга, Канджол, Сардоб, Восточный и Западный Гайнаком, Западная Кактархана, Соссыксай, Замбарак . . . . .	45	Не обн.	6987	749	546	384
Кавказ	Садон, Згид . . . . .	9	Не обн.	2200	412	149	21,5
Якутия	Булатское . . . . .	1	—	—	600	—	—
Болгария	Пшеничище, Караалиевское . . . . .	5	Не обн.	3000	1200	833	933
ГДР	Фрейберг . . . . .	3	100	500	300	—	—
Япония	Ойцуми . . . . .	13	10	3000	450	—	—
Среднее . . . . .		76	Не обн.	6987	667	384	34,4

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Средняя Азия	Уч-Очак, Такели, Гудас . . . . .	10	40	500	48	—	—
Восточное Забайкалье	Покровское . . . . .	2	1	50	—	—	—
Чехословакия	Пршибрам . . . . .	2	30	50	—	—	—
Болгария	Петровица, Гюдюрска . . . . .	4	10	200	67,5	33,2	47,8
Среднее . . . . .		18	1	500	48,8	33,2	11,5

## Среднетемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах

Восточное Забайкалье	Кадаинское, Благодатское, Екатерино-Благодатское, Смирновское, Воздвиженское, Мальцево-Килгинское, Цагаино-Воздаянское, Запокровское, Партейское, Алгачинское, Сопка Баранья . . . . .	29	Не обн.	1960	112	46,2	14,0
----------------------	--	----	---------	------	-----	------	------

Таблица 17

## Серебро в галените

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		

## Высокотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах

Средняя Азия	Ак-Тюз, Куте-Сай, Кале-Сай . . . . .	59	88	1400	584	648	89,1
Восточное Забайкалье	Савинское, Савинское 5, Кличкинское, Каменское, Мыльниковско-Хоркиринское, Северная Шахтама . . . . .	10	390	1700	942	684	370
Среднее . . . . .		69	88	1700	636	650	85,2

## Высоко- и среднетемпературные свинцово-цинковые в скарнах

Приморье	Тетюхе . . . . .	14	1000	9 500	3285	3150	980
Средняя Азия	Таш-Булак, Перевальное, Курусай I, Орлиная Горка, Джангалык . . . . .	69	100	22 640	2110	1482	377
Болгария	Алтын-Топкан, Мышик-Кол, Кургашинкан . . . . .	68	100	4 620	731	715	135
	Месторождения Маданского и Лыкинского районов . . . . .	52	224	2 300	651	539	83
Среднее . . . . .		120	100	4 620	639	598	78
Казахстан	Верхнеубинское . . . . .	2	160	280	220		

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\sigma}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Среднетемпературные свинцово-цинковые в эффузивно-осадочных толщах							
Рудный Алтай	Золотушинское, Белоусовское, Лениногорское, Среднее, Заводинское, Березовское, Змеиногорское	60	20	2 500	548	428	44,5
Болгария	Маджарово, Шипченково, Бакаджик	18	60	1 481	331		
Среднее . . . . .		78	20	2 500	498	422	43
Рудный Алтай	Зырянское . . . . .	27	30	3 590	1180	1225	280
Среднетемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
Средняя Азия	Чукур-Джилга, Саидоб, Боорду, Гудас . . . . .	18	20	1 200	325	272	44
Кавказ	Садон . . . . .	11	Не обн.	1 000	445	—	—
Болгария	Руси, Лабница . . . . .	6	170	430	273	—	—
Среднее . . . . .		35	Не обн.	1 200	356	279	37
Восточное Забайкалье	Покровское, Ивановское, Смежное, Каразаргинское . . . . .	10	1000	3 900	2833	2494	426
Средняя Азия	Замбарак, Канджол . . . . .	12	250	5 196	2238	2034	852
Среднее . . . . .		22	250	5 196	2508	2404	377
Среднетемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах							
Восточное Забайкалье	Благодатское, Воздвиженское, Цагаяно-Воздаянское, Мальцевско-Килгинское, Екатерино-Благодатское, Кадаинское, Смирновское, Партейское, Солпа Баранья, Северное Акагуевское . . . . .	45	450	5700	2457	2338	178
Болгария	Чипровицы . . . . .	—	—	—	2919	—	—
Низкотемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах							
Болгария	Садмочисленцы . . . . .	4	60	80	72	—	—

Данные по остальным редким элементам в галените еще более ограничены, и надежные окончательные оценки средних содержаний по ним получить нельзя. Несмотря на это, некоторые приведенные ниже цифры могут представить интерес.

Наиболее часто встречающаяся в галените примесь серебра оказалась охарактеризованной незначительным количеством прямых определений в минерале. Несмотря на это, приводимые ниже оценки средних содержаний этого элемента в галените отражают общие закономерности (табл. 17).

Как было показано в последние годы (Кузнецов, 1959; Бадалов, Еникеев, 1959; Иванов, 1961, 1966), галенит постоянно содержит незна-

чительные количества кадмия, а нередко и индия. Среднеарифметические оценки средних содержаний этих элементов для некоторых типов месторождений даны в табл. 18.

Таблица 18

Кадмий и индий в галените

Тип месторождения	Содержание г/т	
	Cd	In
Касситерит-силикат-сульфидные . . . . .	40	3
Свинцово-цинковые высокотемпературные		
в силикатных породах . . . . .	30	4
в скарнах . . . . .	100	2
Свинцово-цинковые среднетемпературные		
в силикатных породах . . . . .	100	5
в карбонатных породах . . . . .	—	4
Свинцово-цинковые низкотемпературные		
в карбонатных породах . . . . .	100	—

Исследованиями С. Т. Бадалова, С. М. Баситовой и др. (1966) установлена незначительная примесь рения в галените месторождений Средней Азии (г/т):

Кургашинокан . . . . .	0,12 (6 анализов)
Кумышкан . . . . .	0,03 (2 » )
Лашкерек . . . . .	0,15 (6 » )
Тез-Куль . . . . .	0,05 (4 » )
Наугарзан . . . . .	0,04 (6 » )

Такие же низкие содержания Re (0,06 г/т) определены нами в галените из Лениногорского месторождения, в котором, кроме того, обнаружена ничтожная примесь Pd (0,002—0,01 г/т). Низкие содержания Pd (0,032 г/т) типичны и для галенита из Кургашинокана (Бадалов и др., 1966).

В заключение отметим, что, кроме перечисленных элементов, галениты нередко являются носителями повышенных количеств Au, Sn, As, еще чаще Sb, иногда Hg и т. д. Все эти элементы, как и многие из перечисленных выше, нуждаются в детальном геохимическом изучении и оценке величин средних содержаний для различных типов месторождений.

### СФАЛЕРИТ

Главный источник цинка и многих редких элементов (индия, кадмия, галлия, германия и др.) — сфалерит относится к числу наиболее широко распространенных сульфидных минералов и встречается во многих типах послемагматических месторождений.

Сульфид цинка имеет переменный состав, тетраэдрическую координацию атомов серы и две модификации: кубический  $\beta$ -ZnS — сфалерит и гексагональный  $\alpha$ -ZnS — вюртцит. Первый из них распространен наиболее широко, второй, хотя и встречается довольно часто, образует крупные промышленные скопления в очень редких, специфических условиях.

Химический состав сфалерита с давних пор изучался весьма большим количеством исследователей. Первые сведения о закономерностях распределения в нем элементов-примесей относятся к 20—30 годам нашего столетия и связаны с именами Ф. Брера, Х. Варрена, А. Том-

сона, О. Габриельсона, Л. Грейтона, О. Еряметса, Д. Морриса, И. Офтедаля, Р. Стойбера, а позднее П. Симса, Е. Шролля, Е. Шацли, Ч. Харанчика и многих других. Большой вклад в познание состава сфалерита внесли С. А. Боровик, Н. М. Прокопенко, Н. В. Лизунов, Е. К. Лазаренко, А. А. Ясинская, М. В. Иваницкий, А. А. Малахов и сотрудники ИМГРЭ: В. Д. Баранов, О. В. Вершковская, М. С. Воробьева, В. Ю. Волгин, А. А. Гармаш, А. С. Жукова, К. Ф. Кузнецов, Г. М. Мейтув, Э. Ф. Минцер, Н. В. Нечелюстов, Н. Н. Попова, Н. А. Читаева, авторы настоящей книги и другие.

Первые оценки средних содержаний некоторых элементов-примесей в сфалерите (табл. 19) были подсчитаны несколько лет назад (Иванов, Родионов, Тархов, 1963; Иванов, 1966).

Таблица 19

Некоторые элементы-примеси в сфалерите, г/т

Тип месторождения	In	Cd	Ga	Ge	Tl
Касситерит-силикат-сульфидные . . . . .	1100	3300	7	2	1
Свинцово-цинковые высокотемпературные в сильно метаморфизованных силикатных породах . . . . .	30	2000	12	3	—
Свинцово-цинковые высоко- и среднетемпературные в скарнах . . . . .	50	5000	20	7	—
Медно-цинковые колчеданные . . . . .	15	1700	30	30	8
Медно-свинцово-цинковые колчеданные . . . . .	8	2500	50	5	8
Свинцово-цинковые среднетемпературные					
в силикатных породах . . . . .	200	3000	15	5	1
в карбонатных породах . . . . .	80	2000	30	35	2
Свинцово-цинковые низкотемпературные					
в карбонатных породах . . . . .	2	3000	50	170	80
в силикатных породах . . . . .	8	3000	100	100	10

Новые статистические оценки средних содержаний элементов-примесей приведены в табл. 20. В большинстве случаев они близки к прежним значениям. В то же время для однотипных месторождений, характеризовавшихся ранее одной величиной среднего, в результате статистической обработки материала обособились самостоятельные группы месторождений, каждая из которых характеризуется своей наиболее правдоподобной оценкой среднего содержания.

Наиболее богатые индием касситерито-сульфидные месторождения (1400 г/т) распадаются на две независимые группы (2280 и 670 г/т). Так же обстоит дело и для большинства других типов месторождений (см. табл. 20). Среднее содержание индия в высокотемпературных свинцово-цинковых месторождениях, залегающих в сильно измененных силикатных породах, характеризуется двумя оценками: 720 г/т для сфалеритов Актюзского рудного поля (Средняя Азия) и 55 г/т — для месторождений Кличкинского района (Восточное Забайкалье). Для скарных свинцово-цинковых месторождений, а также для среднетемпературных свинцово-цинковых руд, залегающих в силикатных породах, также получено по несколько оценок среднего (табл. 20). В целом четко видно, что различными содержаниями индия характеризуются сфалериты из однотипных месторождений, отличающихся геохимическими особенностями образования и, в частности, величиной оловоносности.

Кадмий в однотипных месторождениях различных рудных провинций распределен более равномерно, и каждый из изученных типов характеризуется одной единой оценкой наиболее правдоподобного среднего. При этом почти все средние оценки сохранились (см. табл. 21).

## Индий в сфалерите

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Касситерито-сульфидные							
Северо-Восток СССР	Большой Каньон, Галимый, Валькумей, Чапаевское, Лазо . . . . .	89	100	8000	3200	2280	417
Якутия	Эге-Хая, Депутатское, Иллингас, Подвешенное, Алыс-Хая, Бургавли . . . . .	36	3	3210	896	800	217
Приморье	Лифудзин, Хрустальное, Смирновское, Ново-Монастырское, Силинское, Дальнетаежное . . . . .	200	50	6100	625	670	11
Восточное Забайкалье	Шерловогорское . . . . .	45	40	2620	663	642	51,6
Среднее . . .		281	3	6100	682	670	0,77
Высоко-среднетемпературные свинцово-цинковые в силикатных и карбонатных породах							
Восточное Забайкалье	Савинское № 5, Почекуевское, Мыльниковско-Хоркиринское, Кличкинское . . . . .	24	5	160	63	55	12,2
Восточное Забайкалье	Чупинское . . . . .	5	260	310	270	—	27,0
Восточное Забайкалье	Каменское . . . . .	7	500	1500	1230	—	268,0
Средняя Азия	Актюзское рудное поле . . . . .	32	28	2050	576	528	166,0
Среднее . . .		39	28	2050	693	720	142,0
Высоко- и среднетемпературные свинцово-цинковые в скарнах							
Средняя Азия	Алтын-Топкан, Курусай I, Таш-Булак, Мышик-Кол, Перевальное, Кансайское рудное поле . . . . .	169	Не обн.	68	8,4	5,0	0,34
Алтай	Верхнеубинское, Покровское 2, Шемонаихинское . . . . .	15	Не обн.	50	9,1	2,2	0,74
Приморье	Верхнее, 1-й Советский рудник, Ванчин . . . . .	25	0,2	70	7,0	4,2	1,8
Центральный Казахстан	Акджальское, Гульшадское . . . . .	20	Следы	11	1,3	1,6	1,5
Мексика	Санта-Барбара, Санта-Еввалия . . . . .	4	Не обн.	8	4	—	3,8
Среднее . . .		233	Не обн.	70	7,6	4,7	0,3
Центральный Казахстан	Батыстау, Карагайлы, Кызыл-Эспе, Акчагыл . . . . .	56	Не обн.	630	160	95	19,6
Западная Европа	Месторождения района г. Осло, месторождения Моравии . . . . .	6	3	100	37	32	39,0
Средняя Азия	Кургашинокан, Джангалык, Орлиная Горка, Николаевское . . . . .	207	Не обн.	500	61,0	55	0,09
		88	6	171	52	54	21,0
Среднее . . .		301	Не обн.	500	58	55	0,02

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Медно-цинковые колчеданные							
Урал	Им. III Интернационала, Маукское, Южное, Учалы-Гайское, Комсомольское, Сибайское .	92	Не обн.	320	25	23	1,0
Среднетемпературные свинцово-цинковые в эффузивно-осадочных толщах (колчеданно-полиметаллические)							
Алтай	Золотушинское, Зыряновское, 2-е Греховское, Тишинское, Лениногорское, Ново-Березовское, Березовское, Лазурское, Среднее, Снегиревское . . . . .	78	Не обн.	66	5,6	4,5	0,9
Джунгарский Ала-Тау	Текели . . . . .	4	10	20	15	—	4,6
Кавказ	Кафанское, Бурунское . Газлинское, Гюмушханское, Мазринское, Шаумян-Халаджское . . . .	4	22	370	140	—	165,0
		10	Не обн.	42	7,6	—	9,0
Среднее . . .		96	Не обн.	370	12	6,0	0,9
Среднетемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
Якутия	Зарница, Кутинское, Булатское, Мангазейское, Верхне-Менкеченское, Детаньжинское, Урочемское, Алтайское . .	37	Не обн.	5000	480	250	150,0
Приморье	Ахобинское, Довгалевское . . . . .	12	100	500	260	200	33,8
Восточное Забайкалье	Покровское, Каразаргинское, Смежное, Ивановское . . . . .	21	4	600	289	260	78,4
Чехословакия ГДР	Пшибрам, Кутна Гора . Фрейберг, Шлагенвальд, Брейтенбрюнн . . . . .	15	5	2000	6000	—	280,0
		4	10	1000	450	—	471,0
Англия, Ирландия	Лейк Дистрикт, Шропшир, Кардиган . . . . .	23	Не обн.	300	50	—	31,0
Франция	Ла Виллидер, Панасквейра . . . . .	2	200	300	250	—	118,6
США	Колорадо . . . . .	18	Не обн.	1000	170	—	125,0
Япония	Ойцуми . . . . .	57	Не обн.	1000	300	—	69,0
Среднее . . .		189	Не обн.	5000	316	217	7,5
Кавказ	Садон, Холст, Згид, Захребтовое, Эльбрус . .	124	Не обн.	350	15	—	5,2
Болгария	Крушев Дол, Петровице и другие . . . . .	8	Не обн.	28	8	—	6,6
Средняя Азия	Боорду, Чукур-Джилга, Сардоб, Замбарак, Кани-Мансур, Баритовая Горка . . . . .	52	Не обн.	83	21	14	7,1
Среднее . . .		184	Не обн.	350	16	15	0,42

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Восточное Забайкалье	Благодатское, Екатерино-Благодатское, Цагайно-Воздаянское, Воздвиженское, Центральное, Спасское, Запокровское, Гурулевское, Кадаинское . . . . .	70	10	1700	365	257	180
	Восточное Забайкалье	Октябрьское, Северо-Ака-туевское . . . . .	173	5	7000	42,0	48,0
Центральный Казахстан	Узунжальское . . . . .	4	5	10	5	—	2,3
Западная Сибирь	Горевское . . . . .	24	0,2	60	18,0	—	6,4
Англия	Месторождения Северных и Южных Пеннин . . . . .	19	Не обн.	300	44,0	18,0	5,0
Среднее . . . . .		220	Не обн.	700	39,0	25,0	1,0

## Низкотемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах

Казахстан	Ачисай, Смена, Мирга-лимсай, Карасай, Бай-джансай . . . . .	10	0,3	6	3	—	—
Европа	Месторождения Италии, Австрии, Швеции . . . . .	112	Не обн.	5	2	—	—
Центральная Европа	Месторождения ГДР, ФРГ, Франции . . . . .	15	Не обн.	3	2	—	—
Англия, Ирландия	Флинтшир, Мишра, Хал-кин, Баллиликей и др. . . . .	22	Не обн.	150	8	—	15,6
США	Миссури . . . . .	12	Не обн.	—	—	—	—
Среднее . . . . .		171	Не обн.	150	2	2	0,06

## Низкотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах

Кавказ	Верхняя Квайса, Айт-зорское . . . . .	3	Не обн.	0,5	0,2	—	0,6
Средняя Азия	Наугарзан, Такоб, Дарайсо . . . . .	5	0,3	8	2,0	—	3,2
Нигерия	Абакалики . . . . .	2	—	—	Не обн.	—	—
Среднее . . . . .		7	Не обн.	8	1,5	0,4	0,98
Карпаты	Берегово, Рахово, Шев-чуковское . . . . .	6	Не обн.	46	17,0	—	14,0
Англия, Ирландия	Лейк Дистрикт, Шроп-шир, Кардиган и др. . . . .	21	Не обн.	300	20,0	—	31,0
Среднее . . . . .		27	Не обн.	300	19,0	18	13,0

## Кадмий в сфалерите

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Силикатно-сульфидные оловорудные							
Якутия	Депутатское, Эге-Хая, Алыс-Хая и др. . . . .	15	110	5300	3200	—	980
Северо-Восток СССР	Чапаевское, Галимый, Большой Каньон и др. . . . .	19	200	9600	3500	—	1960
Восточное Забайкалье	Хапчеранга . . . . .	1	—	—	1800	—	—
Приморье	Лифудзин, Хрустальное и др. . . . .	24	240	5100	3500	—	280
Приамурье	Солнечное, Фестивальное и др. . . . .	9	1300	4800	3000	—	980
Среднее . . .		68	110	9600	3300	3450	245

## Высокотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах

Восточное Забайкалье	Савинское № 5, Почкуевское, Чупинское, Кличкинское, Каменское, Мелентьевское и др. . . . .	50	1000	7900	3000	4000	490
Средняя Азия	Актюзское рудное поле . . . . .	31	120	2480	1000	1000	650
США	Франклин-Фернес . . . . .	—	360	5000	2600	—	—
Швеция	Эммебери . . . . .	1	—	—	1200	—	—
Австралия	Брокен-Хилл . . . . .	5	1400	2040	2000	—	245
Мексика	Наика . . . . .	2	2700	2900	2800	—	245
Канада	Сулливан, Тетролт, Амулет, Калумет-Айленд . . . . .	4	1300	4000	2400	—	1960
Среднее . . .		93	120	7900	2200	3600	49

## Высоко- и средне температурные в скарнах

Средняя Азия	Алтын-Топканское рудное поле . . . . .	180	200	14300	7700	7000	327
	Курусайское . . . . .	53	5000	13800	7500	7800	390
	Кансайское рудное поле, Кургашинокан, Кумышкан . . . . .	64	1600	3900	2995	3000	140
Центральный Казахстан	Кызыл-Эспе, Юго-Восточный Гульшад, Карагайлы, Коскайгыр, Акджал, Акчагыл . . . . .	25	1500	9500	4300	3900	490
Восточный Казахстан	Верхнеубинское, Шеманайхинское . . . . .	3	3500	3800	3700	—	204
Приморье	Верхнее, I-й Советский, Ванчин . . . . .	9	1900	7020	2850	3000	490
Япония	— . . . . .	7	1200	8000	4900	—	1640
Норвегия	— . . . . .	10	300	5000	3000	—	997
Мексика	Санта-Барбара, Санта-Евлалия . . . . .	4	2300	8650	5500	5600	3266
ГДР	Брейтенбрюнн, Святой Кристоф . . . . .	3	2841	4100	3600	—	857
Югославия	Странтр . . . . .	—	1000	3000	2000	—	—
Среднее . . .		358	1000	14300	5700	4720	13

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Средняя Азия	Боорду, Гудас, Сардоб, Янги-Кан, Кан-и-Мансур, Такели, Чупур-Джилга, Замбарак, Тары-Эжан, Западный Кантар-Хана, Уч-Очак, Лашкерек, Терекмискан, Айгыр-Булак, Акташ, Сысыквай, Средний и Восточный Гайнакан, Кен-Шанык . . . . .	119	200	19100	5400	5500	196
Восточное Забайкалье	Покровское . . . . .	9	1600	3800	2200	—	494
Кавказ	Садон, Эгид, Холет, Уаза-Хох, Ход, Захребетовое, Северо-Кавказское, Мериси, Камышло, Айтзорское, Самтредиа, Пичареча, Дамблудское . . . . .	183	100	11700	2440	2900	3,2
Северо-Восток СССР	Булатское, Мангазейское, Кельтер, Болбукское, Зарница, Кучинское, Джетангинское, Урочинское, Верхнеломпнское, Алтайское . . . . .	29	70	5000	2550	2700	74
Болгария	Маджарово, Бориево, Кудшев Дол, Петровица, Голям-Палас, Гадюрска, Петровица, Караалиевское . . . . .	15	1700	4200	2800	3260	98
ГДР	Фрейберг, Андреасберг . . . . .	16	1600	10000	5260	5400	980
Чехословакия	Пршибрам . . . . .	4	1000	10000	4100	—	4283
США	Колорадо . . . . .	28	2500	6700	3300	—	440
Япония	Районов Фунуока, Оита, Милзаки, Нагасаки, Коюшима, Амагата . . . . .	98	200	9200	2390	2000	196
Финляндия	Вихонти . . . . .	13	1000	3800	1900	—	441
Канада	Кено-Хилл, Галена-Хилл . . . . .	11	7100	11600	—	—	—
Среднее . . . . .		525	70	11700	3300	2900	0,24

Среднетемпературные свинцово-цинковые  
в эффузивно-осадочных породах

Алтай	Золотушинское, Зыряновское, Березовское, Белоусовское Среднее, Лениногорское, 2-е Греховское, Путинцевское . . . . .	129	100	5000	2740	2300	150
	Иртышское . . . . .	6	130	250	170	—	38
Салаир и Южный Казахстан	Спорное, Слепое, Троицкое, Первомайское, Александровское, Текели и др. . . . .	27	850	2500	1500	—	172
Кавказ	Буронское, Кадабек, Чирагидзор, Кафанское . . . . .	8	1300	9200	2500	—	2115
Юго-Восточная Европа	Месторождения Крейцекка, Гравакера, Сардинии, Мегген . . . . .	15	50	10000	3000	—	1404

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Финляндия, Швеция	Оутокумпу, Ориярви, Ренстрем, Лонгдаль и др. . . . .	10	700	2500	1500	—	382
	Среднее . . .	195	50	10000	2140	2040	13

## Среднетемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах

Восточное Забайкалье	Благодатское, Воздвиженское, Екатерино-Благодатское, Октябрьское, Спасское, Центральное, Запоровское, Кадаинское, Гурулевское, Акатуевское . .	112	600	4100	2200	2000	98
Восточная Сибирь	Горевское, Стрелка . . .	2	1400	2100	1250	—	1215
	Среднее . . .	114	600	4100	2000	2000	8,5

## Низкотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах

Кавказ	Верхняя Квайса, Хвамли, Айтзорское, месторождения Сванетии и Аджарии . . . . .	114	750	6000	3800	3400	1110
Средняя Азия	Наугарзан, Такоб, Иокуньш, Дарайсо, Лачин-Хана и др. . . . .	21	270	8400	3500	3500	852
Донбасс	Месторождения Нагольного кряжа . . . . .	10	1540	8320	5100	—	1439
Таймыр	Партизанское . . . . .	2	40	2760	1400	—	3900
Карпаты	Берегово, Шевчуковское, Рахово . . . . .	10	730	4470	1500	—	794
Англия, Ирландия	Лейк-Дистрикт, Шропшир, Кардиган . . . . .	21	300	10000	3000	—	1010
Центральная Европа, Португалия	Тауэрн . . . . .	3	3000	5000	4500	—	1361
Нигерия	Абакалики . . . . .	3	—	—	7000	—	—
	Среднее . . .	184	40	10000	3410	3400	13

## Низкотемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах

Южный Казахстан	Миргалымсай, Смена, Ачисай, Карасай, Дарбаза, Теректы . . . . .	19	1000	7450	2500	2200	1306
Кавказ	Дзышра . . . . .	16	1700	2800	1700	—	152
Польша	Бытом, Яворзко, Хрцанов, Льгота, Псари, Болеслав, Тарновски Гурь, Миотек, Сивиру и др. . . . .	27	800	35000	7000	5800	1225

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Австрия	Месторождения Северного Триаса . . . . .	14	100	10000	3000		1294
ФРГ	Аахен, Шмальграф, Лафатч . . . . .	7	500	5000	2400	2000	650
Италия	Райбл . . . . .	7	500	10000	2700	—	2300
Югославия	Миесс . . . . .	6	560	3000	2000	—	644
Бельгия	Бляйберг, Кройт, Миттерберг . . . . .	29	300	5000	2400	2400	490
Англия	Дембшир, Кумберленд, Флинтшир . . . . .	24	1000	10000	5300	4300	490
Франция	Малин . . . . .	3	1650	2160	1800	—	590
США	Джоплин, Галена, Оклахома, Картервилл, Джасперсити, Грей, Хоскинс, Тиффени, Шульбюри, Лазалле, Лейк-Крик, Ретхали и др. . . . .	21	500	5000	2600	2100	392
Испания	Аустрия, Етрон . . . . .	2	1000	3000	2000	—	2400
Среднее . . . . .		175	300	35000	3500	2800	392

## Медноколчеданные

Урал	Им. III Интернационала, Маукское, Карабаш, Учалинское и др. . . . .	24	32	5100	1400	1600	110
Кавказ	Чирагидзор, Кадобек, Новогореловское . . . . .	4	2100	3700	3000	—	760
Испания	Рио-Тинто . . . . .	—	—	—	3000	—	—
Швеция	Фалун . . . . .	—	—	—	1500	—	—
Среднее . . . . .		28	32	5100	1670	1600	22

Весьма значительно изменилась в сторону увеличения оценка среднего для сфалеритов из высокотемпературных свинцово-цинковых месторождений, залегающих в сильно измененных силикатных породах (прежняя 2000, новая — 3600 г/т).

Оценки средних содержаний галлия в сфалеритах существенно изменились для следующих типов месторождений (I — оценка 1966 г., II — новая), г/т:

	I	II
Свинцово-цинковые высокотемпературные в силикатных породах . . . . .	12	5
Колчеданно-полиметаллические . . . . .	50	18
Свинцово-цинковые низкотемпературные в силикатных породах . . . . .	100	170

Данные табл. 22 также дают нам представление о содержании галлия в сфалеритах.

Прежняя группа, характеризовавшаяся одной оценкой среднего содержания галлия в сфалерите из низкотемпературных свинцово-цинковых месторождений (50 г/т), распалась на две: 10 г/т, объединяющую подавляющее большинство месторождений (СССР, Юго-Восточная Ев-

## Галлий в сфалеритах

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$	
			от	до	среднее			
Силикато-сульфидные оловорудные								
Якутия	Депутатское, Эге-Хая, Бургавли . . . . .	13	Не обн.	26	8	—	5	
Приморье	Лифудзин, Хрустальное, Силинское . . . . .	13	2,5	20	7	—	3	
Приамурье	Солнечное, Фестивальное	5	2	10	5	—	3	
Восточное Забайкалье	Хапчеранга . . . . .	2	0,4	15	7	—	18	
		Среднее . . .	33	Не обн.	26	7	6,4	1,8
Высокотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах								
Восточное Забайкалье	Савинское № 5, Почкуевское, Чупинское и другие . . . . .	29	Не обн.	50	3	—	5	
Средняя Азия	Актюз . . . . .	2	1	4	2,5	—	3,6	
США	Франклин-Фернес . . . . .	3	6	14	9	—	5	
Канада	Тетролт, Амулет-Айленд, Калумет-Айленд . . . . .	3	10	100	55	—	61	
Австралия	Брокен-Хилл . . . . .	2	10	17	13	—	8	
		Среднее . . .	39	Не обн.	100	8	5	2,4
Высоко- и среднетемпературные свинцово-цинковые в скарнах								
Казахстан	Каскайгыр, Кызыл-Эспе, Верхнеубинское, Шемонаихинское, Покровское . . . . .	8	2	250	89	82	40	
Средняя Азия	Кумышкан . . . . .	1	—	—	32	—	—	
Дальний Восток	Тетюхе, Ванчин . . . . .	2	5	300	152	—	385	
ГДР	Святой Кристоф, Брейтенбрюнн . . . . .	3	Следы	15	8	—	10	
Норвегия	Месторождения района г. Осло . . . . .	2	—	—	5	—	—	
Югославия	Странтрг . . . . .	1	—	—	22	—	—	
		Среднее . . .	17	Следы	300	61	26	8,5
Среднетемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах								
Средняя Азия	Боорду, Сардоб, Гудас, Лашкерек, Караташ-Котан, Замбарак, Чукур-Джилга . . . . .	17	2	20	7	8	1,6	
Якутия	Алтинское, Эндыбал . . . . .	4	1	24	8	—	10	
Восточное Забайкалье	Покровское . . . . .	4	1	25	13	—	11	
Кавказ	Садон, Холст, Ход, Эльбруское . . . . .	8	6	140	35	14	4,9	
Болгария	Крушев Дол, Голям-Палас, Гадюрска, Коралиевское, Петровица, Маджарово . . . . .	41	Не обн.	181	36	22	7,4	
Чехословакия	Пршибрам . . . . .	4	Не обн.	30	8	—	13	
ГДР	Фрейберг, Шлагенвальд, Химшельфабр . . . . .	7	Не обн.	30	6	—	7	
США	Месторождения Колорадо	14	10	40	10	—	4	
Япония	Ойцуми . . . . .	57	Не обн.	10	4	—	0,7	
		Среднее . . .	156	Не обн.	181	10	10	0,3

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
<b>Среднетемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах</b>							
Восточное Забайкалье	Благodatское, Воздвиженское, Екатерино-Благodatское, Кадаинское, Акатуевское, Гурулевское, Запокровское, Октябрьское и др. . . . .	81	6	130	50	34	3,5
США	Балмат . . . . .	24	1	500	40	—	52
Франция	Сентбейн . . . . .	28	Не обн.	40	4	—	4
Среднее . . .		133	Не обн.	500	38	34	0,37
<b>Среднетемпературные свинцово-цинковые в эффузивно-осадочных породах</b>							
Рудный Алтай	Золотушинское, Иртышское, Березовское, Белоусовское, Среднее, Лениногорское, Путинцевское, 2-е Греховское, Зыряновское . . . . .	143	Не обн.	400	43	13	2,3
Салаир	Спорное, Первомайское . . . . .	15	3	7	5	—	2
Казахстан	Текели . . . . .	3	10	50	30	—	27
Кавказ	Буронское . . . . .	—	—	—	8	—	—
Финляндия, Швеция	Оутокумпо, Ориярви, Ренстрем . . . . .	10	10	95	60	—	18
Западная Европа (Австрия, Италия)	Крейцек, Грауваккер, Массамаритима, Сантандер и др. . . . .	18	Не обн.	1000	140	—	134
Среднее . . .		189	Не обн.	1000	50	18	0,2
<b>Низкотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах</b>							
Кавказ	Верхняя Квайса, Снатыкмо, Аягзорское . . . . .	11	3	110	40	—	22
Донбасс	Нагольный кряж . . . . .	2	10	14	12	—	49
Карпаты	Рахово, Вышково, Берегово . . . . .	25	Не обн.	120	50	44	11
Таймыр	Партизанское . . . . .	2	24	47	35	—	28
Среднее . . .		40	Не обн.	120	45	39	2
<b>Средняя Азия</b>							
Средняя Азия	Лачин-Хана, Наугарзан, Такоб, Иокуньж, Ташкескем, Аккуль, Кандара и др. . . . .	119	Не обн.	900	140	177	28
Кольский п-ов	Базарное . . . . .	2	150	170	160	—	25
Англия, Ирландия	Кардиган, Шропшир, Лейк-Дистрикт и др. . . . .	21	70	300	170	150	21
Нигерия	Абакалики . . . . .	2	150	200	170	—	61
Среднее . . .		144	Не обн.	900	170	170	22

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Низкотемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах							
Южный Казахстан	Ачисай, Миргалимсай, Смена, Аксуран, Кара-Кемир, Кокташ, Карасай, Теректы . . . . .	27	1	100	17	—	10
Кавказ	Амтхели, Гумиста, Дзышра . . . . .	26	4	42	30	—	3,7
Сибирь	Месторождения Сибирской платформы . . . . .	21	Не обн.	50	10	—	5
Юго-Восточная Европа	Лафатч, Инзель, Карл-Эдуард, Венделий, Ауронцо, Миесс, Райбл, Аахен, Шмальграф, Изерлон, Брилон, Блейшарлей, Бляйберг, Кройт, Бинненталь и др. . . . .	149	Не обн.	1000	16	10	3,9
Польша	Месторождения Нижней и Верхней Силезии, Светокшанских гор, Иваничка . . . . .	29	Не обн.	400	28	33	32
Африка США	Месторождения Алжира Джоплин, Галена, Картервилль, Джаспер-Сити, Лазале, Лейк-Крик, Грей, Госкинс, Томпсон, Раткам, Шульсбюри . . . . .	1 23	— Следы	— 500	36 65	— 30	— 19,6
Среднее . . . . .		276	Не обн.	1000	23	10	0,32
Англия	Дербшир, Кумберленд, Флинтшир . . . . .	31	20	300	148	134	22

ропа, Польша, Африка, США) и 134 г/т — для обогащенных флюоритом месторождений Англии.

Оценки средних содержаний германия изменились в наименьшей степени (табл. 23). Исключение составляют средние содержания германия в сфалерите колчеданно-полиметаллических месторождений и среднетемпературных свинцово-цинковых месторождений в силикатных породах, которые при статистической обработке материала снизились с 5 до 1,4 и 1,2 г/т соответственно.

Селен. Оценки средних содержаний этого элемента в сфалерите получены впервые, почти все основаны на малом количестве анализов и не всегда достаточно надежны (табл. 24). Наиболее точными следует признать оценки в сфалеритах среднеазиатских свинцово-цинковых месторождений, в скарнах, подсчитанные по данным Н. В. Нечелюстова, Н. Н. Поповой, Э. Ф. Минцера, и колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая, основанные главным образом на материалах А. А. Гармаша и В. Д. Баранова.

Теллур. Первые значения величин средних содержаний теллура в сфалерите получены для ограниченного числа типов месторождений (табл. 25). Они охарактеризованы большим материалом для свинцово-

## Германий в сфалерите

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Высокотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
Средняя Азия	Актюз . . . . .	2	4	8	6	—	—
Восточное Забайкалье	Хапчеранга . . . . .	1	—	—	2	—	—
США	Нью-Джерси, Франклин-Фернес . . . . .	1	—	—	1,4	—	—
Канада	Квебек, Амулет . . . . .	1	—	—	9	—	—
Мексика	Наика . . . . .	2	Не обн.	2	1	—	2
	Среднее . . . . .	7	Не обн.	8	4	4	2,1
Высоко- и среднетемпературные свинцово-цинковые в скарнах							
Казахстан	Кызыл-Эспе, Карагайлы, Коскайгыр . . . . .	45	Следы	50	7	—	3
Дальний Восток	Тетюхе, Ванчин . . . . .	3	Не обн.	94	31	—	63
ГДР	Брайтенбрюнн, Святой Кристоф . . . . .	3	Следы	50	10	—	33
Мексика	Санта-Евфалия, Санта-Барбара . . . . .	5	Не обн.	12	3	—	4,9
Югославия	Странтрг . . . . .	1	—	—	7	—	—
	Среднее . . . . .	57	Не обн.	94	8	5,3	2,8
Медноколчеданные							
Урал	Красногвардейское, им. III Интернационала, Гайское, Учалинское, Комсомольское, Левиха XIV . . . . .	57	2	145	38	25	5
	Мауское, Карабашское . . . . .	9	Не обн.	3	Следы	—	—
Среднетемпературные свинцово-цинковые в эффузивно-осадочных породах							
Алтай	Золотушинское, Иртышское, Березовское, Белоусовское, Лениногорское . . . . .	20	Не обн.	10	2,3	1,4	0,5
Северная Норвегия	—	15	Не обн.	50	5	—	6
	Среднее . . . . .	35	Не обн.	50	3,4	1,4	0,4
Среднетемпературные свинцово-цинковые в гранитоидах, песчаниках, сланцах							
СССР	—	12	Не обн.	20	5	—	3
Болгария	Месторождения Маданского района, Маджарово . . . . .	—	Не обн.	3	1	—	—
Чехословакия, ГДР	Пршибрам, Фрейберг . . . . .	4	Не обн.	30	9	—	13
Япония	Ойцуми . . . . .	57	Не обн.	10	1	—	0,8
	Среднее . . . . .	73	Не обн.	30	2	1,2	0,49

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Среднетемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах							
Франция	—	28	Не обн.	100	35	—	10
Низкотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
СССР	—	16	Не обн.	47	8	—	—
Англия, Ирландия	Лейк Дистрикт, Шропшир и др. . . . .	15	50	200	140	—	—
Ирландия	Баллиликей . . . . .	1	—	—	400	—	—
Португалия	Пажажвейра . . . . .	1	—	—	Не обн.	—	—
Нигерия	Абакалики . . . . .	2	—	—	250	—	—
Низкотемпературные свинцово-цинковые в карбонатных породах							
СССР	—	97	Не обн.	440	115	—	25
Юго-Восточная Европа	Лафатч, Инзель, Карл-Эдуард, Ауронцо, Миесс, Райбл, Бляйберг-Кройт, месторождение Гаубиндена, Бинненталь, месторождения Бергаменских Альп, Аахен, Шмальграф, Изерлок, Брилои, Блейшарлей, Грзбконка, Вислох . . . . .	147	Не обн.	3000	230	157	22
Польша	Бытом, Яворзно, Хрцалов, Люта, Псари, Болеслав, Тарновски Горы, Миотек . . . . .	24	3	800	90	—	83
Англия	Дорбшир, Флентшир, Минера . . . . .	28	5	300	161	167	24
США	Джоплин, Галена, Картервилль, Джаспер-Сити, Лазалле, Лейк-Крик, Грей, Хоскинс, Тифнесси, Томпсон, Шульсбюри . . . . .	19	70	3000	200	150	49
Среднее . . .		315	Не обн.	3000	176	158	15

цинковых скарных месторождений, тогда как остальные оценки характеризуют скорее отдельные рудные провинции, нежели весь тип в целом.

Кроме перечисленных, наиболее характерных для сфалерита элементов-примесей, он содержит целый ряд других, изученных несравненно слабее, но представляющих не меньший интерес как в геохимическом отношении, так и для попутного извлечения. В нем часто встречаются Ni, Co, Ag, Au, Bi, Sb, As и др. Данным по всем этим элементам еще недостаточно.

## Селен в сфалерите

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/с			$\bar{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Медно-цинко-колчеданные							
Урал	Им. III Интернационала, Карабаш, Гайское, Учалинское . . . . .	35	Не обн.	260	28	9	3,5
	Маукское . . . . .	4	140	187	158	—	23
Высокотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах							
Восточное Забайкалье	Савинское № 5, Почкуевское, Каменское, Кличкинское . . . . .	4	Не обн.	12	5	—	5
Средняя Азия	Актюзское рудное поле . . . . .	16	Не обн.	20	2	3	2,4
Австралия	Брокен-Хилл . . . . .	2	4	8	6	—	4
Среднее . . . . .		22	Не обн.	20	3	3,5	1,7
Высоко- и среднетемпературные свинцово-цинковые в скарнах							
Средняя Азия	Алтын-Топкан, Чал-Ата, Таш-Булак, Мышик-Кол, Перевальное . . . . .	30	Не обн.	72	6,3	4,4	1,6
	Курусай, Орлиная Горка, Туранглы, Джангалык . . . . .	29	Не обн.	24	3,8	3,2	1,6
	Кургашинка . . . . .	14	Не обн.	16	2,5	—	2,3
	Среднее . . . . .		73	Не обн.	72	4,4	3,8
Восточный Казахстан	Верхне-Убинское, Шемонаихинское . . . . .	7	10	65	36	35	16
Приморье	Тетюхе . . . . .	3	—	—	Не обн.	—	—
Югославия	Странгр . . . . .	1	—	—	Не обн.	—	—
Мексика	Санта-Барбара . . . . .	1	—	—	Не обн.	—	—
Среднетемпературные свинцово-цинковые в гранитоидах, песчаниках и сланцах							
Средняя Азия	Сардоб, Канджол, Гудас . . . . .	19	Не обн.	5	Следы	—	—
Болгария	Крушев Дол, Бориева . . . . .	2	Следы	65	—	—	—
Среднетемпературные свинцово-цинковые в эффузивно-осадочных породах							
Алтай	Золотушинское, Иртышское, Белоусовское, Среднее, Лениногорское, 2-е Греховское, Зыряновское . . . . .	103	Не обн.	500	40	18	1,3

## Теллур в сфалерите

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
<b>Высокотемпературные свинцово-цинковые в силикатных породах</b>							
Восточное Забайкалье	Савинское № 5, Почкуевское, Каменское, Кличкинское . . . . .	4	Не обн.	Следы	Не обн.	—	—
Средняя Азия	Актюзское рудное поле . . . . .	16	Не обн.	10	Следы	—	—
<b>Высоко- и среднетемпературные свинцово-цинковые в скарнах</b>							
Средняя Азия	Алтын-Топкан, Таш-Булак, Мышик-Кол, Перевальное . . . . .	26	Не обн.	25	3	2	1,2
	Курусай, Орлиная Горка, Джангалык . . . . .	29	Не обн.	18	2,7	2	1,3
	Кургашикан . . . . .	14	Не обн.	240	25	34	—
Среднее . . . . .		69	Не обн.	240	7,3	2	0,15
Восточный Казахстан Приморье	Верхне-Убинское, Шемонаихинское . . . . .	7	Не обн.	20	4,2	2,7	3,9
	Тетюхе . . . . .	3	Не обн.	3	1	—	1,9
Среднее . . . . .		79	Не обн.	240	6,7	2	0,15
<b>Среднетемпературные свинцово-цинковые в гранитоидах, песчаниках, сланцах</b>							
Средняя Азия Болгария	Сардоб, Гудас, Канджол	19	Не обн.	8	Следы	—	—
	Крушев Дол, Бориева . . . . .	2	Следы	65	32	—	—
<b>Среднетемпературные свинцово-цинковые в эффузивно-осадочных толщах</b>							
Алтай	Золотушинское, Иртышское, Березовское, Среднее, Лениногорское, Путинцевское, 2-е Греховское, Зырянское . . . . .	101	Не обн.	37	6	4,4	0,97
<b>Медно-цинковоколчеданные</b>							
Урал	Им. III Интернационала, Маукское, Карабаш, Гайское, Учалинское, Комсомольское . . . . .	38	Не обн.	114	16	4,2	1,9
<b>Оценки (<math>\bar{x}</math>) средних содержаний серебра в сфалеритах (<math>g/m</math>):</b>							
Свинцово-цинковые							
в сильно измененных породах . . . . .					138		
в скарнах . . . . .					187		
В измененных породах							
карбонатных . . . . .					244		
силикатных . . . . .					366		
эффузивно-осадочных . . . . .					192		
В слабо измененных породах							
силикатных . . . . .					68		
карбонатных . . . . .					107		

## Селен в пиритах

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Медноколчеданные							
Урал	Красногвардейское, Зюзельское, Учалинское, Гайское, им. III Интернационала . . . . .	101	Не обн.	557	140	70	3,3
Кавказ	Группа урупских месторождений . . . . . Чибухлинское, Агвинское	— 29	20 20	350 576	118	94	22
Среднее . . . . .		130	Не обн.	576	135	70	0,3
Урал	Маукское, Карабаш . . .	84	Не обн.	450	43	21	0,5
Колчеданно-полиметаллические							
Алтай	Золотушинское, Ново-Золотушинское, Снегиревское, Зыряновское, 2-ое Греховское . . . . .	24	Не обн.	90	20	10	4
Забайкалье	Ново-Широкинское . . .	7	Следы	30	8	—	—
Среднее . . . . .		31	Не обн.	90	17	10	0,8
Алтай	Тишинское, Лениногорское, Березовское и др.	30	12	560	142	130	49
Свинцово-цинковые в скарнах							
Средняя Азия	Алтын-Топкан, Мышик-Кол, Перевальное, Курусай . . . . .	23	Не обн.	125	17	17	11
Казахстан	Батыстау, Карагайлы, Гульшад . . . . .	20	Не обн.	69	10	—	—
Среднее . . . . .		43	Не обн.	125	14	16	2,4
Медно-молибденовые							
Армения	Агаракское, Дастакертское, Анкаванское, Айгедзорское, Джиндаринское	37	Не обн.	305	71	60	14
Средняя Азия	Кальмакыр, Дальнее . .	48	Не обн.	133	55	60	14
Среднее . . . . .		85	То же	305	62	60	5
Касситерит-сульфидные							
Забайкалье	Шерловогорское . . . .	4	Следы	44	12,5	—	—
Сурьмяно-ртутные							
Средняя Азия	Хайдаркан . . . . .	28	4	64	18	—	—

Еще более значительный разброс значений содержаний в сфалерите характерен для висмута (Попова, Нечелюстов, Разина, 1966; Воробьева, Синдеева, 1967; Гармаш, Иванов, Кузнецов, 1966; Иванов, 1964) (г/т):

Молибденит-вольфрамовые грейзены Казахстана . . . . .	120—3400
Касситерит-силикат-сульфидные Якутии . . . . .	Не обн.—400
Медноколчеданные Урала . . . . .	Не обн.—100
Колчеданно-полиметаллические Рудного Алтая . . . . .	Не обн.—320

Довольно часто в сфалерите заключена также примесь кобальта и никеля, содержания которых обычно изменяются от 0 до 20—80 г/т Ni и от 0 до 200—600 г/т Co.

Единичные анализы сфалеритов из свинцово-цинковых и колчеданно-полиметаллических месторождений на рений, выполненные С. Т. Бадаловым и другими (1966) и авторами этой работы показывают наличие весьма низких его концентраций, не превышающих 0,03—0,08 г/т.

Еще более низко в сфалерите, по единичным данным, содержание палладия — 0,0004—0,002 г/т.

В заключение необходимо подчеркнуть, что, несмотря на большое количество специальных исследований, сфалериты в отношении многих элементов-примесей охарактеризованы недостаточно. В первую очередь это относится к Au, Ag, Co, Ni, As и S, изучение которых в сфалерите является первоочередной задачей.

## ДИСУЛЬФИДЫ ЖЕЛЕЗА

Дисульфиды железа (пирит и марказит) — наиболее широко распространенные сульфидные минералы. Изучению их химического состава посвящено довольно много исследований. Однако данные по интересующим нас элементам в литературе все еще ограничены и большинство из них не систематизировано. Приведенные ниже оценки средних содержаний некоторых элементов-примесей подсчитаны с использованием фактических материалов многих исследователей, упомянутых в статьях по сфалериту, галениту и халькопириту. Особенно большой вклад в познание деталей химического состава дисульфидов железа внесли отечественные исследователи В. И. Вернадский и П. П. Пилипенко, а также С. Т. Бадалов, М. С. Воробьева, Б. Д. Акоюн, А. А. Гармаш, Н. Д. Синдеева, Н. С. Хачатурян и зарубежные Ч. Харанчик и Э. Шроль.

Селен — наиболее типичный элемент-примесь пирита. В табл. 26 приведены статистические оценки средних содержаний в этом минерале из различных типов рудных месторождений. В большинстве случаев эти оценки наиболее надежны и свидетельствуют, что самые благоприятные условия для концентрации селена в пирите создаются при формировании колчеданно-полиметаллических месторождений, большинство которых характеризуется оценкой среднего содержания, равной 130 г/т. Так же высоки оценки средних содержаний селена в пирите большинства медноколчеданных и всех изученных медно-молибденовых месторождений (70 и 60 г/т соответственно).

Весьма широко распространен в пиритах и теллур. На первом месте по величине концентрации этого элемента стоят медноколчеданные и медно-молибденовые месторождения, а за ними уже следуют колчеданно-полиметаллические (табл. 27), в связи с чем отношение Se : Te

## Теллур в пиритах

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \Delta$
			от	до	среднее		
Медноколчеданные							
Урал	Учалинское . . . . .	12	30	190	106	—	28
	Красногвардейское, им. III Интернационала, Зюзельское, Маукское, Карабаш, Гайское . .	175	Не обн.	220	40	34	5
Кавказ	Группа урупских месторождений . . . . .	—	10	87	—	—	—
Закавказье	Чибухлинское, Агвинское	29	8	70	28	24	5
Колчеданно-полиметаллические							
Алтай	Золотушинское, Ново-Золотушинское, Зырянское, 2-е Греховское, Снегиревское . . . . .	54	Не обн.	110	15	12	3
Забайкалье	Ново-Широкинское . . .	7	Следы	22	5	—	—
Свинцово-цинковые в скарнах							
Средняя Азия	Алтын-Топкан, Мышик-Кол, Перевальное, Курусай . . . . .	23	Не обн.	21	4	2	1
Казахстан	Батыстау, Карагайлы, Гульшад . . . . .	20	Не обн.	54	15	10	2
Медно-молибденовые							
Закавказье	Агаракское, Дастакертское, Анкаванское, Айгедзорское, Джиндаринское . . . . .	17	16	140	39	—	17
Средняя Азия	Кальмакыр, Джаныбек, Дальнее, Сары-Чеку . .	79	Не обн.	13	8,1	—	—
Касситерит-сульфидные							
Забайкалье	Шерловогорское . . . . .	4	Следы	160	43	—	76
Сурьмяно-ртутные							
Средняя Азия	Хайдаркан . . . . .	28	Следы	40	6,5	—	4

в различных типах месторождений изменяется довольно значительно. Таким образом, из приведенных данных по селену и теллуру видно, что в типах гидротермальных месторождений с наибольшими запасами серного колчедана наблюдаются и наиболее высокие содержания этих элементов. Это весьма благоприятно для их попутного извлечения.

Таллий также весьма широко распространен в дисульфидах железа (табл. 28), причем в отличие от первых двух элементов его наиболее высокие концентрации связаны с марказитами и колломорфными

## Таллий в пиричах

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm\lambda$
			от	до	среднее		
Медноколчеданные							
Урал	Им. III Интернационала .	6	Не обн.	530	123	—	18
	Маукское, Карабашское, Гайское, Учалинское .	90	Не обн.	19	3	1,5	0,3
Колчеданно-полиметаллические							
Алтай	Золотушинское, Зырянское, Снегиревское . .	13	Не обн.	24	7	8	2,8
	Ново-Золотушинское, 2-е Греховское . . . . .	6	Не обн.	4	1,6	1,5	1,4

разностями пиритов. Оценки среднего содержания таллия в этих разновидностях дисульфидов железа, по нашим данным, равны (г/т):

Свинцово-цинковые низкотемпературные месторождения в карбонатных породах . . . . .	150
Свинцово-цинковые низкотемпературные месторождения в силикатных породах . . . . .	120

Во всех остальных типах месторождений содержание таллия в дисульфидах железа обычно несравненно ниже и характеризуется оценками, приведенными в табл. 28.

Очень сходно с таллием поведение мышьяка в дисульфиде железа. Однако для вывода оценок его средних содержаний фактических данных еще явно недостаточно, так же как никеля, кобальта, висмута, серебра, золота и большинства других элементов. Поэтому приведем лишь предварительные данные по элементам, наличие которых в дисульфидах железа ранее вообще не предполагалось. Это рений, индий и кадмий, пределы колебаний содержаний которых в некоторых типах месторождений приведены в табл. 29.

Таблица 29

## Рений, индий, кадмий, германий в пиричах

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\pm\lambda$
			от	до	среднее	
Рений						
Медноколчеданные						
Кавказ	Алаверды, Черная речка, Кафан . . . . .	4	Не обн.	0,8	0,6	3,2
Медно-молибденовые						
Кавказ	Каджаран, Айгедзор, Дастакерт, Джиндара, Парагачай . . . . .	23	Не обн.	3	0,8	0,3
Средняя Азия	Кальмакыр, Умбетты, Сары-Чеку, Дальнее . . .	5	0,3	3,6	1,6	1

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			±λ
			от	до	среднее	
<i>Индий</i>						
Медноколчеданные						
Урал	Им. III Интернационала, Карабаш, Гайское . . . . . Группа урупских месторождений . . . . .	39	Не обн.	12	2,1	1
Кавказ		—	10	50	—	—
<i>Кадмий</i>						
Медноколчеданные						
Урал	Им. III Интернационала, Маукское, Карабаш, Учалы . . . . .	21	Не обн.	200	34	21
Медно-молибденовые						
Средняя Азия	Кальмакыр, Дальнее . . .	3	10	20	17	8
<i>Германий</i>						
СССР	Колчеданно-полиметаллические . .	—	—	—	2	—
	Свинцово-цинковые среднетемпературные в силикатных породах . . .	—	—	—	1	—

## МОЛИБДЕНИТ

Главный промышленный источник молибдена — молибденит является носителем многих элементов-примесей, таких как Re, Se, Te, Bi, Au, Os и т. д. Начало изучению химического состава молибденита было положено И. и В. Ноддаками в тридцатых годах, которые впервые обнаружили в нем рений и показали необходимость комплексного использования молибденитовых руд. В. И. Бибиковой, С. М. Баситовой, Н. А. Хрущовым, В. Г. Кругловой, С. Т. Бадаловым, В. Н. Гороховой, А. С. Фарамазяном, Б. Ф. Зленко, Г. П. Зарьяном, Н. Д. Синдеевой, М. П. Исаенко и другими исследователями были изучены геохимические особенности молибденитов из различных типов месторождений и выявлены закономерности распределения в них рения и отчасти некоторых других элементов.

Молибденит обычно представлен разновидностью ( $a_0 = 3,15$ ,  $c_0 = 12,30 \text{ \AA}$ ), слагающей руды подавляющего большинства молибденовых месторождений. В последние годы А. С. Фарамазяном, Э. Х. Хуршудьяном, В. Т. Кругловой и другими установлена ромбоэдрическая модификация  $\beta\text{-MoS}_2$ , отличительной особенностью которой является приуроченность к медно-молибденовым, относительно низкотемпературным гидротермальным рудам. Предварительное геохимическое изучение  $\alpha\text{-MoS}_2$  показало значительную обогащенность их рением по сравнению с  $\alpha\text{-MoS}_2$  (Фарамазян, Хуршудьян, 1963; Круглова и др., 1965). Приводимые ниже оценки средних содержаний элементов-примесей характеризуют в основном  $\alpha\text{-MoS}_2$  и только в медно-молибденовых ме-

сторождениях к ним прибавляется примесь  $\beta\text{-MoS}_2$ , количественная роль которых не ясна.

Рений. В табл. 30 приведены статистические данные средних содержаний рения в молибденитах различных типов месторождений, подсчитанные с использованием всех известных на сегодняшний день химических определений этого элемента. Эти оценки обоснованы гораздо большим материалом и значительно надежнее, чем вычисленные ранее (Хрущов, Круглова, Пенсионова, 1960; Горохова, 1964).

Таблица 30

Рений в молибденитах

Тип минерализации	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т	Возможная ошибка
Молибденит-содержащие пегматиты: гранитные щелочные	Слюдяная гора, Шаталова, Иркутское	6	6—52 (29)	16
	Тахтарвумчорр, Пиче-Холь . . . . .	5	3—30 (9)	11
	Кварц-молибденитовые жилы	16	1—330 (70)	44
Молибденит-содержащие грейзены: жильные	Кара-Оба, Акчатау, Омчикандя, Мульчиха и др. . . . .	87	0—200 (15)	2
	Жанет, Джида, Батыстау, Коктекколь, Верхне-Кайрактинское, Еропол . . . . .	26	6—80 (23)	8
Штокверковые	Осеннее . . . . .	90	20—321 (86)	6
	Молибденит-кварц-силикатный	111	10—280 (86)	5
Молибденит-кварц-силикатный	Костромихинское, Сыргичи, Студенческое, Аманан-Макит, Ключевское, Давенда, Амуджикан, Жирекенское, Сорское, Оборонное . . . . .	40	2—80 (34)	3
	Шахтама, Шалгия, Ункурташ, Чавата . . . . .	74	0,5—51 (8)	2
	Бугдая, Умальта, Тугучакское, Ипчульское . . . . .	69	1—85 (11)	2
Молибденит-щеелитовый	Тырны-Ауз, Койташ, Лянгар, Юрук-Дара . . . . .	3	69—79 (74)	4
	Миена-Дара, Ледниковое . . . . .	22	1—400 (59)	13
Молибденит-халькопиритовый в скарнах	Юлия Медная, Киялых-Узень, Сосновское, Саукбулак, Чимган, Арбатское, Тугучак . . . . .	3	107—910 (556)	758
	Худайдог, Майдантал . . . . .	5	10—21 (14)	3
	Глафира, Сахарское, Чапташ . . . . .	48	17—1930 (882)	108
	Коунрад, Бошекуль, Кальмакыр, Джиндара, Коктасджал . . . . .	253	80—1610 (444)	34
	Каджаран, Агарак, Дастакерт, Далидаг, Парагачай, Сары-Чеку, Медет, Росен . . . . .			

Примечание. В скобках дано среднее арифметическое содержание.

Оценка среднего содержания рения в молибденитах из гранитных пегматитов, подсчитанная по единичным анализам ( $29 \pm 16$  г/т) \*, учитывая значительные возможные ошибки, близка к этой же величине кварц-молибденитовых жил ( $70 \pm 44$  г/т). Среднее содержание рения в молибденитах из грейзенов характеризуется двумя величинами. Первая, наиболее низкая ( $15 \pm 2$  г/т), получена для жильных представителей этого типа месторождений, вторая ( $86 \pm 6$  г/т), вычисленная для штокверков, близка к оценке, полученной для кварц-молибденовых ме-

\* Оценки средних содержаний рения в щелочных и десилицированных пегматитах подсчитаны по малому количеству анализов и не надежны.

сторождений. И в первом, и во втором случаях содержания рения в молибденитах, попавших в данную группировку, весьма близки. Исключения составляют штокверковые месторождения Жанет и Джида, средние содержания в которых ближе к жильному типу ( $23 \pm 8$  г/т). Данные, полученные К. К. Жировым, Г. Ф. Ивановой (1959), И. Я. Некрасовым, Н. С. Пахомовой (1963) и авторами этой книги по наиболее полно изученным в отношении рения грейзеновым месторождениям, показывают, что более ранние и высокотемпературные разновидности молибденитов из этих руд относительно обогащены рением (в 2—4 раза), так же как более крупнокристаллические по сравнению с мелкозернистыми (в 1,5—2 раза).

Содержание рения в молибденитах месторождений молибденит-кварц-силикатного типа для подавляющего их большинства может быть оценено в  $86 \pm 5$  г/т. Лишь незначительное количество, главным образом мелких рудопроявлений, не характеризуется этой величиной. Она наиболее низка ( $\hat{\theta} = 8 \pm 1$  г/т) для Бугдаинского, Умальтинского и других месторождений СССР (см. табл. 30), а также для крупнейшего месторождения Кляймекс (США).

Содержание рения в молибдените скарных, обогащенных медью месторождений в среднем для большинства представителей этого типа невелико ( $\hat{\theta} = 59 \pm 13$  г/т), но все же в несколько раз выше, чем в большинстве обедненных медью молибденит-шеелитовых скарнах ( $\hat{\theta} = 11 \pm 2$  г/т).

По величине рениеносности молибденита все медно-молибденовые месторождения этого типа, с учетом данных С. Т. Бадалова, С. Т. Баситовой, З. А. Козловской, М. Стайкова, Т. Тодорова, Н. А. Хрущова, А. С. Фарамазяна, В. Н. Гороховой и других, четко разделяются на две группы: обогащенные медью и рением и менее обогащенные. К первым относится большинство месторождений Средней Азии и Казахстана, общая оценка среднего содержания рения в которых наиболее высока ( $882 \pm 108$  г/т); ко вторым — большинство месторождений Кавказа и Народной Республики Болгарии ( $\hat{\theta} = 444 \pm 34$  г/т; см. табл. 30).

Подавляющее большинство медно-молибденовых месторождений по величине концентрации рения укладываются в очерченные рамки. Однако имеется несколько небольших, наиболее низкотемпературных и близповерхностных медно-молибденовых рудопроявлений (Закавказье), величина концентрации рения в молибденитах которых на один-два порядка выше приведенных средних и достигает до 1,8%. А. С. Фарамазяном и др. (1963) в них обнаружен ромбоэдрический  $\beta$ - $\text{MoS}_2$ , который и содержит максимальные концентрации рения. Отношение  $\text{Mo} : \text{Re}$  в этих рудах гораздо ниже, чем в обычных медно-молибденовых месторождениях, и возможно наличие собственных минералов рения (Магакьян, Пиджян, Фарамазян, 1964). В другом рудопроявлении наиболее высокие содержания рения оказались приуроченными к колломорфному молибдениту, развитому на участках руд, сохранивших следы коллоидного происхождения.

В большинстве же обычных медно-молибденовых месторождений рением обогащены крупнокристаллические молибдениты, образовавшиеся в кварц-молибденит-халькопиритовую стадию. В более ранних, так же как и в поздних минеральных ассоциациях величина концентрации рения в молибденитах в 2—3 раза ниже (Горохова, 1964; Фарамазян, 1961).

По данным С. К. Калинина, Т. А. Сатпаевой и Э. Е. Файна, в молибдените присутствует осмий — продукт радиогенного распада  $\text{Re}^{75} \rightarrow \text{Os}^{76}$ .

Селен — элемент, следующий за рением по частоте встречаемости и величине концентрации в молибдените. Несмотря на это, число

надежных определений его для молибденитов большинства типов месторождений еще недостаточно, в связи с чем приведенные в табл. 28 оценки средних содержаний во многих случаях получены как средние арифметические и являются предварительными. Несмотря на это, совершенно четко видно, что наиболее высокие содержания селена заключены в молибдените некоторых кавказских месторождений (табл. 31). Со-

Таблица 31

Селен в молибденитах

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Гранитные пегматиты							
Прибайкалье Западная Европа	Иркутское . . . . .	1	—	—	1	—	—
	Хеннеберг . . . . .	3	32	83	48	—	—
Пегматиты десилицированных гранитов							
Урал	Изумрудные Копи . . .	1	—	—	75	—	—
Молибденит-кварцевые							
Северный Урал Западная Европа	Харбей . . . . .	1	—	—	60	—	—
	Нидерборрич . . . . .	2	127	147	137	—	—
Молибден-шеелитового типа в скарнах							
Северный Кавказ Западная Европа	Тырныауз . . . . .	2	60	86	73	—	—
	Пехтельсгрюн . . . . .	10	7	116	87	—	21
Среднее . . . . .		12	7	116	85	—	21
Западная Европа	Гейер, Эренсридерсдорф, Альтенберг, Садисдорф, Крупка, Горный Славков . . . . .	21	99	265	192	163	2
Молибден-медного типа в скарнах							
Средняя Азия Красноярский край	Бозымчакское . . . . .	2	0	140	70	—	—
	Юлия Медная, Киялык- Узень . . . . .	5	13	48	28	—	—
Кварц-молибденит-вольфрамит-грейзеновые жильного типа							
Казахстан	Кара-Оба . . . . .	2	31	35	33	—	—
Кварц-молибденит-вольфрамит-грейзеновые штокверкового типа							
Забайкалье Казахстан	Джида . . . . .	1	—	—	20	—	—
	Букука . . . . .	1	—	—	60	—	—
	Жанет . . . . .	1	—	—	41	—	—
Среднее . . . . .		3	—	—	40	—	—

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \Delta$
			от	до	среднее		
Молибденовые жилы и штокверки							
Забайкалье	Давенда, Ключевское, Амуджикан, Больше-Кудеченское, Шахтама, Студенческое, Амонан-Макит, Кудикан, Оборонное . . . . .	45	0	785	78	71	4
Дальний Восток	Умальта . . . . .	1	—	55	—	—	—
Среднее . . . . .		46	0	785	78	71	5
Забайкалье	Бугдая . . . . .	2	20	28	24	—	—
Красноярский край	Сорское . . . . .	14	10	35	13	—	—
Среднее . . . . .		16	10	35	14	—	4
Медно-молибденовые							
Закавказье	Каджаран . . . . .	43	20	1060	300	249	5
	Агарак . . . . .	5	135	270	211	—	—
Среднее . . . . .		48	20	1060	290	247	49
Закавказье	Мисхана . . . . .	20	16	290	107	—	32
Средняя Азия	Сары-Чеку, Умбетгы . .	13	20	350	101	—	87
Среднее . . . . .		33	16	350	104	106	18

держание селена в молибдените, как это впервые показал А. С. Фарамазян (1961), связано прямой корреляционной зависимостью с рением.

Теллур имеет весьма близкие с селеном закономерности распределения в молибдените. Как и для селена, количество данных по распределению теллура в большинстве типов месторождений для получения максимально правдоподобных статистических оценок недостаточно (табл. 32).

Палладий и платина отмечались в молибдените еще И. и В. Ноддаками и В. М. Гольдшмидтом. Выполненные авторами книги и Б. Ф. Зленко единичные определения этих элементов в молибдените дали следующие предварительные результаты (г/т):

Скарны	Pd	Pt	Rh
Медные Средней Азии . . . . .	0,03	Следы	—
Медно-порфиновые Казахстана . . . . .	0,7	0,02	0,04

В молибдените могут содержаться в значительных количествах: висмут — 937 г/т и серебро — 107 г/т (Попова и др., 1967), но распределение их еще не изучено.

Кроме них, в молибденитах отмечались незначительные содержания индия, таллия, а также золота, распределение которого в этом минерале должно быть изучено вместе с висмутом, селеном и теллуrom в первую очередь.

## Теллур в молибденитах

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Молибден-кварцевые месторождения							
Северный Урал	Харбей . . . . .	1	—	—	20	—	—
Молибденит-шеелитового типа в скарнах							
Северный Кавказ	Тырныауз . . . . .	2	48	50	49	—	—
Молибден-медного типа в скарнах							
Средняя Азия	Безымчакское . . . . .	2	0	20	10	—	—
Кварц-молибденит-вольфрамит-грейзеновые жильного типа							
Казахстан	Кара-Оба . . . . .	2	26	30	28	—	—
Кварц-молибденит-вольфрамит-грейзеновые штокверкового типа							
Казахстан	Жанет . . . . .	1	—	—	7	—	—
Забайкалье	Джида . . . . .	1	—	—	0	—	—
	Среднее . . . . .	2	0	7	3	—	—
Молибденовые жилы и штокверки							
Забайкалье	Давенда, Ключевское, Бугдая, Амуджикан, Больше-Кудеченское, Шахтама, Кудикан, Оборонное . . . . .	44	0	160	32	33	1
Дальний Восток СССР	Умальта . . . . .	1	—	—	45	—	—
	Среднее . . . . .	45	0	160	32	33	1
Медно-молибденовые							
Закавказье	Мисхана, Агарак . . . . .	24	16	140	47	41	10
	Каджаран . . . . .	44	10	100	53	54	5
Средняя Азия	Сары-Чеку, Умбетты, Қальмақыр	9	0	30	8	—	7

## ПИРРОТИН

Пирротин не относится к числу главных промышленных рудных минералов. Несмотря на то что в некоторых типах месторождений он составляет основу руд, этот минерал не является в настоящее время предметом специальной добычи. Независимо от этого, количественный анализ распределения элементов-примесей в пирротине представляет большой интерес, так как помогает разобраться в геохимических связях различных типов месторождений. Наиболее распространен пирротин в медно-никелевых рудах, связанных с основными-ультраосновными породами, в которых он является главным рудообразующим минералом. Нередки также его крупные скопления в некоторых колчеданных и касситерито-сульфидных месторождениях.

Общий химический состав и структурные особенности пирротинов изменяются в довольно широких пределах и подробно рассмотрены в специальных работах Х. Херальдсена, А. Буштрома, А. Д. Генкина, Э. Н. Елисева, Б. Ф. Зленко и др. Пирротин имеет переменный со-

## Теллур и селен в пирротине

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание Те, г/т			±λ	Количество анализов	Содержание, Se, г/т			±λ
			от	до	среднее			от	до	среднее	
Титано-магнетитовые											
Урал	Кусинское, Копанское . . . . .	2	Следы	6	3	—	8	40	70	57	—
Медно-никелевые											
Сибирская платформа	Талнахское . . . . .	6	0	15	11	—	11	27	85	79	11
	Норильское . . . . .	11	0	28	9	5	6	32	107	67	—
Кольский п-ов	Печенгское . . . . .	44	0	34	5	2	44	7	89	41	4
	Мончегорское . . . . .	16	0	4	2	0,6	16	10	36	28	3
Канада	Садбери . . . . .	—	—	—	—	—	2	12	63	38	—
Железорудные в скарнах											
Алтае-Саянская область	Ирбинское, Одинокое, Инское, Белорецкое, Шерегашевское, Шальмекское . . . . .	6	5	16	11	2	6	2	40	15	6
Меднорудные в скарнах											
Средняя Азия	Бозымчак . . . . .	6	Следы	800	246	176	6	60	180	86	4
Золотоносные скарны											
Алтае-Саянская область	Синюхинское, Натальевское . . . . .	2	2	3	2	—	2	4	8	6	—
Молибденит-вольфрамовые грейзены											
Казахстан	Акмая . . . . .	2	2	17	8	—	2	21	73	47	—
Кварц-золоторудные жильные											
Алтае-Саянская область	Центральное . . . . .	2	17	47	32	—	2	1,5	5,5	3,5	—
Центральная Сибирь	Ольховское . . . . .	1	—	—	13	—	1	—	—	5	—
Касситерит-сульфидные											
Якутская АССР	Депутатское, Иллитас, Эгехая . . . . .	15	0	13	1,7	1,9	15	0	23	7,3	2,9
Дальний Восток СССР	Солнечное, Фестивальное . . . . .	5	0	10	4	—	5	0	10	4	—
	Среднее . . . . .	20	0	13	—	1,5	20	0	23	6,5	2,7
Полиметаллические											
Средняя Азия	Курусай . . . . .	17	0	6	0,5	0,1	17	0	8	4,2	1
Медно-пирротиновые											
Алтай	Вавилонское . . . . .	43	0	6	1,2	0,4	100	Следы	66	19	4
Медноколчеданные											
Урал	Маукское . . . . .	11	0	100	35	19	11	21	245	130	42
Колчеданно-полиметаллические											
19 Рудный Алтай	Золотушинское . . . . .	6	0	14	2,3	4,4	6	0	34	6	11

став — от 46,5 до 50 ат. % F (двух- и трехвалентного). Он характеризуется дефектной структурой — гексагональной высокотемпературной в пределах составов FeS до Fe<sub>0,9</sub>S, и моноклинной для состава Fe<sub>0,877</sub>S, образовавшихся при температуре < 300° (Елисеев, 1961; Генкин и др., 1965). Преобразование гексагонального пирротина в моноклинный связано с выносом из него железа в окислительных условиях.

В пирротине обнаружено довольно большое количество элементов-примесей. Приведем пределы содержаний некоторых из них (числитель) и крайние значения кларков концентрации (знаменатель) в г/т:

$$\begin{aligned} \text{Se} & - \frac{0 - 800}{0 - 160\,000} ; & \text{Te} & - \frac{0 - 245}{0 - 245\,000} ; & \text{Pd} & - \frac{0 - 5}{0 - 5\,000} ; & \text{Pt} & - \frac{0 - 0,2}{0 - 20} ; \\ \text{Ph} & - \frac{0 - 1,5}{0 - 1\,500} ; & \text{In} & - \frac{0,5 - 90}{4 - 648} ; & \text{Ga} & - \frac{\text{He обн.} - 3,1}{0 - 0,16} ; & \text{Ge} & - \frac{0,5 - 2,8}{0,4 - 2} ; \\ \text{Cd} & - \frac{\text{He обн.} - 10}{0 - 100} ; & \text{Tl} & - \frac{0,07 - 20}{0,07 - 20} . \end{aligned}$$

Из этих данных видно, что из перечисленных элементов в пирротине могут концентрироваться в наибольшем количестве селен, теллур, родий, палладий и индий.

Самое большое количество данных, хотя и недостаточное для вывода надежных окончательных оценок средних содержаний, имеется по селену и теллуру. Теллур в пирротинах разных типов месторождений концентрируется в различных количествах (табл. 33). Наиболее высокие содержания его зарегистрированы Б. Ф. Зленко в скарновом медном среднеазиатском месторождении Бозымчак (246 ± 176 г/т). Затем следует медноколчеданное месторождение Маук (Урал), содержание теллура в пирротине которого на порядок ниже, и, если судить по еще меньшему количеству анализов, некоторые золоторудные месторождения. Количество теллура в пирротине из медно-никелевых руд значительно ниже, чем в перечисленных месторождениях, и различно для разных объектов. Оно максимально в Талнахе и Норильске (Таймыр), а самое низкое в Мончегорске (Кольский полуостров). Во всех остальных типах месторождений содержание теллура в пирротине близко или ниже, чем в медно-никелевых рудах.

В пирротине концентрируется селена больше, чем теллура (см. табл. 33). При этом его содержания наиболее высоки в рудах медноколчеданного месторождения (Воробьева, Синдеева, 1967), за ними идут меднорудные скарны и медно-никелевые руды, содержание селена в пирротине которых довольно велико. Так же как и для теллура, пирротины из различных типов медно-никелевых месторождений характеризуются различными величинами концентрации селена. При этом величина отношения Se : Te одинакова и близка к 10 (Юшко-Захарова, 1964). Во всех остальных типах месторождений пирротин содержит более низкие концентрации селена, которые, однако, как правило, подтверждены значительно меньшим количеством анализов.

Пирротины из медно-никелевых месторождений СССР были изучены на содержание палладия, платины и родия (Юшко-Захарова и др., 1967). Эти данные обобщены и показывают, что в пирротине из всех изученных платиновых металлов наибольшая относительная концентрация свойственна родию, затем палладию и, наконец, платине (табл. 34).

Наиболее высокие содержания палладия и платины характерны для пирротинов из месторождений Норильского района. Для них же проведены единичные определения других платиновых металлов, а так-

## Палладий, платина и родий в пирротине

Тип минерализации	Количество анализов	Pd, г/т			Количество анализов	Pt, г/т			Количество анализов	Rh, г/т		
		от	до	$\bar{x} \pm \lambda$		от	до	$\bar{x} \pm \lambda$		от	до	$\bar{x} \pm \lambda$
Мончегорское месторождение												
Медно-никелевый . . . . .	5	0,5	5,0	$1,5 \pm 1,3$	5	Следы	0,2	$0,1 \pm 0,07$	3	Не обн.	10,5 (0,35)	—
Печенгское месторождение												
	8	Не обн.	$1,1$	$0,28 \pm 0,27$	8	Не обн.	0,02	$0,002 \pm 0,005$	5	Не обн.	1,5	$0,7 \pm 0,19$
Талнахское месторождение												
Медные скарны . . . . .		—	—	—	6	3,7	10 (7)	—	6	Не обн.	0,8 (0,5)	—
Месторождение Бозымчак												
	1	—	0,02	—	1	—	Следы	—	1	—	—	—

Примечание. Здесь и далее в скобках дано среднее арифметическое.

## Кобальт и никель в пирротине

Тип минерализации	Количество анализов	Содержание, г/т		Используемые материалы
		Co	Ni	
Медно-никелевый (Кольский п-ов) . . . . .	—	160—2500	300—6709 (2500)	Елисеев, 1959; Юшко-Захарова, 1964
Титано-магнетитовый (Урал) . . . . .	8	140—2100 (600)	700—4300 (2700)	Латыш, 1965
Железородные скарны (Урал) . . . . .	41	100—5200 (1500)	Не обн. 5300(1100)	Овчинников, 1960
Медные скарны (Урал) . . . . .	292	200—5800 (1600)	Не обн. 3800 (300)	Овчинников, 1948; 1960
Касситерит-силикат-сульфидный . . . . .	5	Не обн.—100	5—500	Иванов, 1964

же рения в пирротине. Средние содержания этих элементов по данным шести анализов следующие (г/т):

Ir	Os	Ru	Re
0,7	0,3	0,5	0,1

Кобальт и никель — типичные элементы-примеси пирротинов. Содержание этих элементов снижается от медно-никелевых магматических и железо-медных скарновых руд к гидротермальным (табл. 35).

Наиболее детально распределение кобальта и никеля охарактеризовано в пирротинах уральских скарновых месторождений Л. Н. Овчинниковым (1948, 1960). Остальные типы месторождений охарактеризованы единичными анализами и требуют специальных исследований.

Кроме перечисленных элементов-примесей в пирротинах установлена примесь большого количества других элементов: висмута, мышьяка, сурьмы, таллия, индия, германия, золота, серебра, рения, олова, свинца, цинка и др. (Иванов, 1964, 1966; Попова и др., 1967). Закономерности их распределения еще недостаточно изучены и охарактеризованы быть не могут.

## ПЕНТЛАНДИТ

Наиболее широко распространен и промышленно важный никелевый минерал пентландит, который в отношении элементов-примесей изучен еще недостаточно. Он имеет переменный состав, причем  $Ni \geq Fe$ , и кубическую структуру.

Пентландит — главный рудный минерал магматических медно-никелевых месторождений. Кроме того, как редкий минерал он встречается в некоторых хромитовых титано-магнетитовых магматических рудах и в скарновых железных и медных рудах Урала (Овчинников, 1960), а также, по данным А. А. Гармаша, в некоторых обогащенных медью колчеданно-полиметаллических рудах Алтая, а по П. Рамдору — в Финляндии (Оутокумпу) и в некоторых других районах. Элементы-примеси пентландита изучены только из медно-никелевых руд (Годлевский, 1959; Елисеев, 1959, 1961; Юшко-Захарова, 1964, 1967) и то только селен, теллур и гораздо слабее — палладий, платина и кобальт.

Селен. Подсчитанное ранее среднее арифметическое содержание селена в пентландите с учетом всех изученных медно-никелевых месторождений составило 51 г/т (Юшко-Захарова, 1964). Статистическая обработка этих же данных показала, что единой надежной оценки среднего содержания этого элемента в пентландите получено быть не может. Каждая из изученных групп месторождений характеризуется существенно отличающимся от других значением среднего (табл. 36).

Теллур. Оценка среднего содержания теллура в пентландите, полученная как среднее арифметическое (Юшко-Захарова, 1964) для всех медно-никелевых месторождений СССР, равнялась 10 г/т). При статистической обработке материала такая оценка среднего получена только для месторождений Кольского полуострова. Данных же по остальным месторождениям оказалось недостаточно (см. табл. 36).

Палладий, платина, родий. Единичные определения перечисленных платиновых металлов в мономинеральных пробах пентландита только из месторождений Мончегорского района не дают возможности подсчитать сколько-нибудь точные оценки средних содержаний этих элементов (табл. 37).

Селен и теллур в пентландите

Регион	Месторождение	Количество анализов	Se, г/т			σ	±λ	Количество анализов	Te, г/т			σ	±λ
			от	до	среднее				от	до	среднее		
Кольский п-ов Таймыр Канада	Мончегорское . . . . .	8	22	65	36	—	10	—	—	—	—	—	—
	Печенгское . . . . .	23	12	200	53	—	20	31	0	55	10	10	1
	Норильское . . . . .	3	35	600	261	—	—	3	8	60	33	—	—
	Садбери . . . . .	2	60	85	72	—	—	1	—	—	50	—	—

Таблица 37

Палладий, платина и родий в пентландите из медно-никелевых месторождений Мончегорского района

Элемент	Количество анализов	Содержание, г/т		$\bar{x} \pm \lambda$
		от	до	
Pd	8	0,5	2,0	$1,0 \pm 0,008$
Pt	8	He обн.	0,2	$0,002 \pm 0,04$
Rh	5	He обн.	0,1	$0,06 \pm 0,03$

Кобальт — постоянная и наиболее широко распространенная примесь в пентландите. Содержание его изменяется в широких пределах. По данным П. Рамдора (1962), известны кобальтовые разновидности пентландита, Э. Н. Елисеев (1959) и М. Н. Годлевский (1959) приводят следующие пределы колебаний содержаний кобальта в пентландитах из медно-никелевых месторождений различных районов (%):

Мончегорск . . . . .	1,09—2,92
Печенга . . . . .	0,52—1,03
Садбери . . . . .	0,85—1,28
Норвегия . . . . .	0,46—0,47

Индий, таллий, галлий и германий при чувствительности применяющегося метода химического анализа в 1 г/т в пентландитах из медно-никелевых месторождений Кольского полуострова обнаружены не были. Содержания же висмута для этих же месторождений не превышали тысячных долей процента.

## БОРНИТ

Борнит — широко распространенный сульфид меди и часто встречающийся вместе с халькопиритом. Однако значительные его концентрации характерны лишь для некоторых типов месторождений. К ним относятся медно-никелевые, медно-цинково-колчеданные и сходные с ними золото-сульфидные, редкометалло-сульфидные руды (Тзумеб, Кинуши и др.), а также некоторые другие комплексные медные руды (Бьюты и др.) и особенно медистые сланцы и песчаники (Джезказган, Мансфельдт и др.). По структурным особенностям борнит примыкает к группе тетраэдрических сульфидов и, по Бюргеру (Buerger, 1947), является дериватом структуры типа цинковой обманки. Сходство их структур особенно ярко проявляется при высоких температурах (450—550°), когда борнит полностью смешивается с халькопиритом.

Минерал имеет неустойчивое отношение главных компонентов в пределах между  $Cu_3FeS_3$  и  $Cu_9FeS_6$  (Рамдор, 1962). Интересующие нас

элементы-примеси борнита изучены еще недостаточно. Имеются лишь единичные специальные исследования состава борнита, выполненные в последние годы (М. С. Воробьева, А. Д. Каленов, Е. М. Поплавко, Г. Н. Пшеничный, Г. Терзиева, Т. Родонова, Т. А. Сатпаева и др.). В результате этих исследований в нем обнаружена примесь рения, германия, селена, теллура, кадмия, висмута, индия и др. Борнит уступает халькопириту по величине концентрации редких элементов (за исключением рения и германия).

**Рений.** К настоящему времени имеется около ста количественных определений рения в борните, причем основное их количество приходится на медистые песчаники (Е. М. Поплавко, Т. А. Сатпаева, С. К. Калинин и др.). Произведенное Е. М. Поплавко специальное статистическое изучение закономерностей распределения рения в борните Джекказганского месторождения показало, что он распределен нормально, а оценка его среднего содержания равна 45 г/т. Такое высокое содержание рения связано с наличием в борните примеси рениевого минерала — джекказганита. Содержание рения в борните из других месторождений сходного типа специально не изучалось. В борните из медно-никелевых руд Талнахского месторождения содержание рения составило 0,07 г/т. Кроме того, здесь обнаружено 0,02 г/т осмия и 0,007 г/т рутения. Борниты из колчеданных месторождений охарактеризованы единичными анализами на рений. Количество рения в них невелико. Так, авторы в борните из месторождения им. III Интернационала обнаружили 0,26 г/т рения, в борните из болгарских низкотемпературных медно-полиметаллических месторождений содержание его составило 0,1—0,5 г/т.

**Германий** содержится в борните из медноколчеданных руд в количестве, обычно составляющем 0,5—50 г/т. Предварительная оценка среднего содержания его в борните некоторых месторождений СССР и Народной Республики Болгарии по 13 анализам составляет около 11 г/т. Однако, по данным некоторых авторов, в борните иногда содержится весьма высокие концентрации германия, достигающие 1000—9000 г/т (Arsenijević и др., 1958; Knezevic, 1958; Каленов, 1963). Возможно, что они связаны с наличием собственных минералов германия. Так, проанализированный борнит из обогащенного германием рудопроявления, содержащий видимую под микроскопом примесь реньерита, содержал 890 г/т германия, а за вычетом минеральной формы германия только 32 г/т. В борнитах из медно-никелевых сульфидных руд, связанных с основными и ультраосновными породами, а также в медистых песчаниках ряда месторождений СССР германий при чувствительности анализа 5—10 г/т не обнаружен. Все остальные элементы-примеси борнитов изучены еще слабее. Данные по селену и теллуру

Таблица 38

Селен и теллур в борните

Тип минерализация	Месторождение	Количество анализов	Среднее содержание, г/т	
			Se	Te
Медно-никелевый	Норильское . . . . .	2	125 (100—150)	12 (10—15)
	Талнахское . . . . .	3	109 (8—203)	15
Медно-цинково-колчеданный	им. Шмидта . . . . .	5	12,4 (Следы—40)	62 (Следы—204)
	Карабаш . . . . .	1	18	7
	Скалистое . . . . .	1	Не обн.	4
Колчеданно-полиметаллический	Золотушинское . . . . .	1	Не обн.	Не обн.
	Челопеч . . . . .	1	120	100
Медистый песчаник	Джекказган . . . . .	2	Не обн.-следы	Не обн.

Примечание. Здесь, а также в табл. 40 в скобках дано содержание селена и теллура от — до.

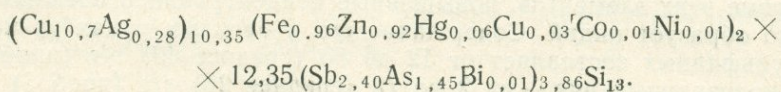
ограничиваются данными, приведенными в табл. 38, которые дают лишь предварительную картину распределения этих элементов и указывают, что наибольшие их концентрации характерны для борнитов из медно-никелевых руд. Повышенное содержание теллура в борните медноколчеданного месторождения им. Шмидта связано с механической примесью в нем теллуридов.

Иногда в борните отмечается небольшое количество  $\text{Bi}$ —3—50 г/т, причем единичные анализы имеются только для медноколчеданных руд и медистых песчаников. Нередко отмечается золото, содержание которого изменяется в весьма широких пределах и зависит от количества его собственных минералов. Из других элементов, достоверно определенных в борните, отметим серебро, кадмий, индий, галлий, таллий. Наиболее широко распространены кадмий и серебро, содержания которых для медноколчеданного месторождения им. III Интернационала составляют:  $\text{Ag}$  от 408 до 11475 (в среднем 4) г/т;  $\text{Cd}$  от 402 до 530 (в среднем 480) г/т при количестве анализов, равном 3. В некоторых случаях содержание кадмия может достигать 1000 г/т (Иванов, 1966). Пределы концентраций остальных редких элементов в борнитах по единичным данным выражаются следующими величинами (г/т):  $\text{In}$ —2—22;  $\text{Ga}$ —1—2,8;  $\text{Tl}$ —2—7, в том числе для других лучше изученных борнитов из месторождения им. III Интернационала следующими величинами:  $\text{In}$ —66—10 ( $\frac{7,7}{4}$ );  $\text{Ga}$ —1,5—2,5 ( $\frac{2}{5}$ );  $\text{Tl}$ —2—7 ( $\frac{4,5}{2}$ ).

В заключение подчеркнем, что изучение элементов-примесей в борнитах только начинается, и здесь предстоит еще очень большая работа, особенно в установлении закономерностей распределения таких элементов, как рений и германий.

### БЛЕКЛЫЕ РУДЫ

Минералы, относимые к группе блеклых руд, — теннантит-тетраэдритовый ряд — в отношении редких элементов-примесей изучены совершенно недостаточно. Структура блеклых руд может быть определена на основе структуры сфалерита. Она состоит из восьми ячеек типа сфалерита, причем одна половина атомов меди имеет четверную, а другая — тройную координацию. В связи с этим теоретически в блеклых рудах имеются достаточно благоприятные структурные условия для элементов, требующих тетраэдрической координации (Pauling, 1934; Штрунц, 1962). Состав минералов этой группы весьма непостоянен и сложен. По Е. К. Лазаренко (1956), общая формула блеклых руд может быть записана в виде:



Выявленные в результате единичных анализов колебания содержания элементов-примесей в блеклых рудах приведены в табл. 39. У нас имеются лишь данные по селену, теллуру, германию и некоторым другим элементам, главным образом в колчеданных месторождениях, на которых мы кратко остановимся ниже.

Селен и теллур определены в 12 образцах блеклых руд теннантитового типа из месторождений СССР (М. С. Воробьева и др.) и Народной Республики Болгарии (Т. Родонова, Г. Терзиев). Все имеющиеся данные приведены в табл. 40 и свидетельствуют о весьма непостоянном содержании этих элементов. В одних случаях селен преобладает над теллуrom или его содержание близко (большинство месторождений СССР) к нему, в других, наоборот, теллур преобладает над

селеном (Народная Республика Болгария). В этом случае в борните обычно устанавливается вкрапленность включений минералов теллура.

Таблица 39

Пределы колебаний содержаний элементов-примесей в блеклых рудах

Элемент	Содержание, г/т	Элемент	Содержание, г/т
Ag	Не обн.—17,71	Ga	Не обн.—50
Bi	Не обн.—13,07	Tl	Не обн.—320
Se	Не обн.—500	Ge	Не обн.—5000
Te	Не обн.—9000	Co	Не обн.—4,21
Cd	120—1120	Ni	Не обн.—3,46
In	2—72	—	—

Примечание. Серебро и висмут даны в %.

Таблица 40

Селен и теллур в блеклых рудах колчеданных месторождений

Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т	
			Se	Te
Урал	Красногвардейское . . . . .	1	500	120
	Им. III Интернационала . . . . .	1	9	Не обн.
	Гумешевское . . . . .	1	120	64
	Южное . . . . .	3	81 (45—100)	80 (Следы—190)
	Гайское . . . . .	1	Следы	20
Болгария	Радка . . . . .	1	253	557
	Челопеч . . . . .	4	253 (6—440)	557 (150—800)

Германий обнаружен не во всех проанализированных образцах блеклых руд из колчеданных месторождений, причем его содержания колеблются в пределах н/обн.—320 г/т. Оценка среднего содержания в них, по данным 11 анализов, составляет 46 г/т. Эта величина подсчитана с учетом блеклых руд из колчеданных рудопроявлений, обогащенных германием. Без них оценка среднего гораздо ниже и, вероятно, близка к 20 г/т. Наоборот, в месторождениях, резко обогащенных германием, как, например, в Тзумебе, содержание германия в теннантите достигает 5000 г/т (Frondel, 1957; Moritz, 1933).

Кроме этих элементов, повышенные концентрации в блеклых рудах нередко образует индий. Содержание его в блеклых рудах из касситерито-сульфидных составляет от 12 до 80 (среднее 40) г/т (проб 11) и медно-колчеданных руд—от 2 до 72 (среднее 25) г/т (проб 5) (Зуев, Сахарова, Воробьева и др.).

Кроме того, иногда в блеклых рудах встречается таллий—до 12 г/т, но данные по его распределению еще более ограничены и поэтому он, как и все остальные элементы-примеси, здесь не рассматривается.

### АНТИМОНИТ

Антимонит относится к числу наиболее распространенных сурьмяных минералов. Он встречается в рудах многих послемагматических (гидротермальных) месторождений, формирование которых заканчивалось при низких температурах. Однако промышленные скопления он образует преимущественно в кварц-антимонитовых (иногда с золотом) и

кварц-карбонат-антимонитовых с киноварью (иногда с реальгаром и аурипигментом) месторождениях, в которых он совместно с кварцем и другими минералами слагает самостоятельные рудные тела. Антимонитовые руды — главный источник получения сурьмы, используемой в различных отраслях промышленности.

Наиболее полно к настоящему времени изучено в антимоните распределение селена, который во многих сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождениях Средней Азии (СССР), Калифорнии, Невады, Айдахо (США) и других регионов мира образует значительные концентрации. Содержание этого элемента в антимоните различных типов сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений изменяется в больших пределах (табл. 41).

Таблица 41

Селен в антимоните сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии

Тип месторождения	Количество анализов	Содержание, г/т		
		от	до	среднее
Кварц-сульфосольно-антимонитовый . . . . .	10	Не обн.	90	25,3
Кварц-(флюорит)-антимонитовый . . . . .	34	Не обн.	1150	114,0
Кварц-карбонат-киноварь-антимонитовый . . . . .	47	Не обн.	23	1,0
Кварц-флюорит-антимонит-киноварный . . . . .	63	Следы	900	150,0
Кварц-диккит-(антимонит)-киноварный . . . . .	5	Не обн.	11	4,1

Если сопоставить содержание селена в однотипных месторождениях, но находящихся в разных регионах, то в одних случаях устанавливается близость содержания этого элемента в антимоните, а в других — значительное расхождение. Так, в антимоните кварц-диккит-(антимонит)-киноварного месторождения Никитовка селен содержится в количестве 5 г/т (среднее), что почти совпадает с его содержанием в среднеазиатских месторождениях этого же типа. Антимонит кварц-сульфосольно-антимонитовых месторождений Центрального Таджикистана содержит в среднем 29,5 г/т селена, а антимонит подобного же типа месторождения Северной Ферганы — 17 г/т, т. е. в данном случае числа близки.

Нередко проявляется геохимическая специфика регионов и потому однотипные месторождения, расположенные не только в регионах, далеко отстоящих один от другого, но и находящиеся в одной и той же провинции, значительно отличаются по содержанию селена в антимоните. Для Средней Азии, например, установлено, что содержание селена в антимоните кварц-(флюорит)-антимонитовых месторождений Южной Ферганы в 11 раз выше, чем в подобных же месторождениях Центрального Таджикистана (табл. 42).

Таблица 42

Селен в антимоните кварц-(флюорит)-антимонитовых месторождений, находящихся в разных рудных районах

Район	Количество анализов	Содержание, г/т		
		от	до	среднее
Южная Фергана . . . . .	22	13	1150	252
Центральный Таджикистан . . . . .	12	Не обн.	80	22

Подобная закономерность отмечалась также и Д. Давидсоном (Davidson, 1960) для месторождений США, где селен в повышенных

количествах (среднее 880 г/т) установлен только в рудах и концентратах сурьмяных месторождений Калифорнии, Невады и Айдахо. В других же районах США и за их пределами (Мексике и некоторых других районах) в подобных месторождениях этот элемент не обнаружен.

Частичная статистическая обработка имеющихся материалов по распределению селена в антимоните отдельных типов месторождений Средней Азии подтверждает отмеченную выше неравномерность в распределении этого элемента. Полученные статистические оценки средних содержаний рассматриваемого элемента в антимоните (табл. 43) позволяют выделить четыре группы типов месторождений, содержания селена в которых значительно отличаются.

Т а б л и ц а 43

Селен в антимоните разных типов месторождений Средней Азии и Донбасса

Тип месторождения	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Кварц-флюорит-антимонит-киноварный	Хайдаркан, Чаувай . . . . .	63	Не обн.	900	149,7	125,7	32,6
Кварц-(флюорит)-антимонитовый	Кадамджай . . . . .	18	21	1150	457,6		
Кварц-сульфосольно-антимонитовый	Абшир, Турк-Парида, Воланги-Дароз . . . . .	12	13	120	40,3	34,2	13,3
	Терексай, Гур-Дара, Кара-Камар . . . . .	10	Не обн.	90	30,2		
Кварц-карбонат-киноварь-антимонитовый	Джизикрут . . . . .	47	Не обн.	23	0,98	1,5	0,96
Кварц-диксит-(антимонит)-киноварный	Кончоч, Никитовка . . . . .	10	Не обн.	12	4,5		

Как по средним арифметическим, так и по максимально правдоподобным оценкам средних содержаний селена в антимоните среди кварц-(флюорит)-антимонитовых месторождений четко выделяются две группы месторождений, в которых содержания рассматриваемого элемента отличаются более чем на порядок. Из табл. 43 видно, что в одну группу объединяются кварц-сульфосольно-антимонитовые и некоторые объекты кварц-(флюорит)-антимонитовых месторождений, в другую — кварц-карбонат-киноварь-антимонитовые и кварц-диксит-(антимонит)-киноварные месторождения. Четко обособленные группы представляют кварц-флюорит-антимонит-киноварные месторождения и месторождение Кадамджай, отличающиеся от первых двух групп резко повышенным содержанием селена в антимоните.

Содержания Tl, In, Ga и Ge в антимоните сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии, а также месторождений других регионов Советского Союза (о чем можно судить по небольшому количеству имеющихся по ним анализов) весьма низкие и не дают резких колебаний, что свидетельствует о нахождении этих элементов в сурьмяно-ртутных рудах в рассеянном состоянии. Упомянутые редкие элементы-примеси не образуют даже небольших концентраций ни в одном из типов рассматриваемых месторождений.

Содержание таллия в антимоните находится в пределах первых единиц г/т (табл. 44) и в среднем для всех месторождений Средней Азии равно 2,9 г/т. Несмотря на то что таллий присутствует в антимоните

Таблица 44

## Таллий в антимоните сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии

Тип месторождения	Количество анализов	Содержание, г/т		
		от	до	среднее
Кварц-сульфосольно-антимонитовый	10	Не обн.	8	2,7
Кварц-(флюорит)-антимонитовый	20	Не обн.	5	2,5
Кварц-карбонат-киноварно-антимонитовый	55	Не обн.	43	3,5
Кварц-флюорит-антимонит-киноварный	23	Не обн.	8	1,6
Кварц-диккит-(антимонит)-киноварный	1	—	—	1,0

в рассеянном состоянии и не образует в нем ощутимых концентраций, все же наблюдается некоторое различие в его содержании в антимоните между месторождениями, находящимися в пределах рудного района, для которого вообще характерны повышенные содержания таллия в его минералах-концентраторах (например, дисульфидах железа), и месторождениями, локализованными за пределами такого района. Так, среднее содержание таллия в антимоните месторождений Южной Ферганы примерно в 2,5 раза ниже, чем в антимоните месторождений Зеравшано-Гиссарского пояса, для которых типоморфным элементом-примесью рассматриваемых месторождений является таллий.

Таблица 45

## Индий в антимоните сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии

Тип месторождения	Количество анализов	Содержание, г/т		
		от	до	среднее
Кварц-сульфосольно-антимонитовый	8	Не обн.	6	1,6
Кварц-(флюорит)-антимонитовый	18	Не обн.	6	2,1
Кварц-карбонат-киноварно-антимонитовый	32	Не обн.	8,8	1,4
Кварц-флюорит-антимонит-киноварный	17	Не обн.	6	0,6
Кварц-диккит-(антимонит)-киноварный	3	—	—	Не обн.

Выявляется и еще одна закономерность в распределении таллия. При изучении кварц-карбонат-киноварь-антимонитовых месторождений, в рудах которых встречаются кристаллические и колломорфные разновидности антимонита, было установлено предпочтительное накопление таллия в колломорфных разновидностях этого минерала, содержащих в 7 раз большее количество данного элемента по сравнению с кристаллическим антимонитом. Среднее содержание таллия в колломорфном антимоните оценено как 11,8 г/т, а в кристаллическом — 1,7 г/т.

Индий распределен в антимоните сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии также более или менее равномерно (табл. 45), при среднем его содержании 1,1 г/т.

Галлий и германий в антимоните среднеазиатских сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений также находятся в рассеянном состоянии. Их содержание в различных типах руд ощутимых колебаний не дает (табл. 46) и составляет единицы г/т.

Галлий и германий в антимоните сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии

Тип месторождения	Количество анализов	Ga, г/т			Количество анализов	Ge, г/т		
		от	до	среднее		от	до	среднее
Кварц-сульфосоляно-антимонитовый . . .	10	3	13	6,1	10	Не обн.	8	1,0
Кварц-(флюорит)-антимонитовый . . .	20	Не обн.	11	4,4	18	Не обн.	12	2,5
Кварц-карбонат-киноварь-антимонитовый	30	Не обн.	7	2,8	35	Не обн.	20	2,1
Кварц-флюорит-антимонит-киноварный .	17	Не обн.	16	3,6	18	Не обн.	14	2,5
Кварц-диккит-(антимонит)-киноварный .	2	3	6	4,5	4	—	—	Не обн.

Математическая обработка средних арифметических содержаний Tl, In, Ga и Ge в антимоните из разных типов сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии (кроме кварц-диккит-антимонит-киноварного типа, фактического материала по которому недостаточно) позволила вывести статистические оценки средних содержаний этих элементов в антимоните (табл. 47). Полученные статистические оценки

Таблица 47

Таллий, индий, галлий и германий в антимоните сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии

Элемент	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\sigma}$	$\pm \lambda$
		от	до	среднее		
Tl	109	Не обн.	43	2,9	2,8	0,36
In	78	Не обн.	8,8	1,1	0,85	0,40
Ga	79	Не обн.	16	3,6	2,3	0,55
Ge	85	Не обн.	20	2,0	1,8	0,71

средних содержаний указанных элементов очень мало отличаются от выведенных их средних арифметических содержаний, хорошо подтверждая последние.

Приведенные в табл. 47 оценки средних содержаний для рассеянного состояния Tl, In, Ga и Ge, по-видимому, могут быть распространены на подобные и некоторые другие (например, сурьмяно-золоторудные) месторождения других районов, что уже подтверждается имеющимися, правда малочисленными, данными. Так, в антимоните сурьмяно-золоторудных и сурьмяных месторождений Восточного Забайкалья (Балей, Итака, Михайловское) нами получено содержание (г/т): In—0,87 (3 анализа), Ge—2,3 (3 анализа); в антимоните из рудного поля Алтын-Топкан (Средняя Азия) индий содержится в количестве 0,6 (1 анализ) и т. д.

Кроме рассмотренных редких элементов, в антимоните содержатся многие другие элементы-примеси, изученные пока крайне недостаточно, и потому математическая обработка результатов анализов по ним не производилась. Среди них можно назвать Ag, Au, Cu, Zn, Pb и др. Имеющиеся по этим элементам-примесям данные представляют несомненный интерес, и ниже мы их кратко рассмотрим.

Серебро весьма характерно для руд сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений. В месторождениях Средней Азии этот элемент обнаруживается обычно во всех рудообразующих минералах, в том числе и антимоните, для которого характерно содержание серебра десятки — сотни г/т. Спектральным анализом (качественным с чувствительностью определения 5 г/т и приближенно-количественным — 3 г/т) серебро обнаружено в 75% проб антимонита (от общего количества анализированных проб — 152). В кварц-сульфосольно-антимонитовых месторождениях, в которых повышенные концентрации серебра связаны преимущественно с сульфосолями свинца и сурьмы, содержание серебра в антимоните находится в пределах единиц — первых десятков г/т; в кварц-(флюорит)-антимонитовых оно изменяется от 10 до 60 г/т; в кварц-флюорит-антимонит-киноварных этот элемент присутствует в антимоните в количестве до 10 г/т. Более низким содержанием серебра характеризуется антимонит кварц-карбонат-киноварь-антимонитового месторождения, где этот элемент обнаружен в количестве первых единиц г/т и то только примерно в половине проб антимонита (в 26 из 56 проб). В кварц-диксит-(антимонит)-киноварном месторождении серебро в антимоните не обнаружено. Определение серебра в антимонитах некоторых месторождений Таджикистана, выполненное пробирным анализом, показало его содержание в десятки г/т (табл. 48).

Таблица 48

Серебро в антимоните некоторых сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений Таджикистана (по данным Т. И. Новиковой, 1962)

Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т		
		от	до	среднее
Джизжикрут . . . . .	1	—	—	57,9
Нови-Матек . . . . .	2	17,9	57,5	37,7
Воланги-Дароз . . . . .	1	—	—	69,0
Кавнок . . . . .	2	45,5	65,9	55,7

Золото является одним из постоянных элементов-спутников сурьмяно-ртутных, ртутных и, особенно, сурьмяных руд, в которых оно часто присутствует в минеральной форме (в виде самородного золота). Не случайно поэтому довольно широко распространены ртутно-сурьмяно-золоторудные и сурьмяно-золоторудные месторождения.

В изучавшихся нами сурьмяно-ртутных месторождениях Средней Азии золото присутствует в качестве примеси в антимоните, киновари, пирите, сульфосолях свинца и сурьмы и других рудообразующих минералах. При этом установлено, что для антимонита характерно более высокое (примерно в два раза) содержание золота, чем для киновари. Содержание золота в антимоните изменяется, по данным химического анализа, от 0,1 до 3,4 г/т (табл. 49, 50), при среднем содержании 1,05 г/т. По данным И. В. Бурыхина (1958), среднее содержание золота в сурьмяной руде Кадамджая составляет 0,1 г/т.

Сопоставление содержания золота в антимоните месторождений Южной Ферганы и Центрального Таджикистана показало, что в антимоните месторождений Южной Ферганы золота в среднем содержится в 2,5 раза больше, чем в месторождениях Центрального Таджикистана (табл. 50).

Медь также является обычным элементом-примесью руд сурьмяно-ртутных месторождений. Она обнаруживается приближенно-количественным спектральным анализом (чувствительность анализа 10 г/т) практически во всех рудообразующих минералах рассматриваемых ме-

сторождений Средней Азии. Содержание ее в антимоните изменяется от 10 до 500 г/т, составляя в среднем 100—200 г/т независимо (за редким исключением) от типа месторождения. Исключением оказались месторождения Кадамджай и Джижикрут: в первом из них содержание меди в антимоните составляет 57 г/т (по 8 пробам), а во втором — 24 г/т (по 14 пробам).

Таблица 49

Золото в антимоните сурьмяных и сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии

Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т		
		от	до	среднее
Кадамджай . . . . .	1	—	—	3,4
Абшир . . . . .	1	—	—	0,4
Хайдаркан . . . . .	4	0,8	2,2	1,3
Гур-Дара . . . . .	1	—	—	0,5
Пиндар . . . . .	1	—	—	0,1
Джижикрут . . . . .	2	0,4	0,8	0,6
Кончоч . . . . .	1	—	—	0,8
Джижикрут и Нови-Матек* . . . . .	3	0,1	3,0	1,2
Воланги-Дароз и Кавнок* . . . . .	3	Не обн.	0,5	0,2

\* Результаты пробирного анализа (Т. И. Новикова, 1962).

Таблица 50

Золото в антимоните из месторождений, находящихся в разных рудных районах

Район	Количество анализов	Содержание, г/т		
		от	до	среднее
Южная Фергана . . . . .	6	0,4	3,4	1,5
Центральный Таджикистан . . . . .	11	Не обн.	3,0	0,6

Цинк присутствует более или менее постоянно в антимоните и других рудообразующих минералах изучавшихся сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии. Содержание его в антимоните достигает 10 000 г/т и более в отдельных пробах. Наиболее распространено содержание сотни г/т. В антимоните получено самое высокое содержание этого элемента в тех кварц-сульфосольно-антимонитовых месторождениях, в которых широко распространен среди рудных минералов сфалерит. Вполне возможно, что высокое содержание цинка в антимоните таких месторождений вызвано присутствием микровключений сфалерита.

Свинец в антимоните сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии распределен неравномерно, в связи с чем наблюдаются значительные колебания в его содержании. Наиболее высокое среднее содержание его (достигающее нескольких тысяч г/т) характерно для антимонита кварц-сульфосольно-антимонитовых месторождений; в антимоните кварц-карбонат-киноварь-антимонитового месторождения оно равно 620 г/т (по 14 пробам), а кварц-флюорит-антимонит-киноварных — 1020 г/т (по 5 пробам). В группе кварц- (флюорит)-антимонитовых месторождений наблюдается большой разброс средних содержаний по отдельным месторождениям (от 40 до 2700 г/т). Значительные колебания в содержании свинца в антимоните сурьмяно-ртутных месторождений объясняются, по-видимому, присутствием в этом минерале микровключений галенита или сульфосолей свинца и сурьмы.

Олово в антимоните среднеазиатских сурьмяно-ртутных месторождений обычно содержится в пределах 3—10 г/т, редко бывает более высоким. В ряде месторождений олово вообще не обнаруживается (при чувствительности приближенно-количественного анализа 3 г/т).

Еще реже в антимоните указанных месторождений обнаруживается молибден (присутствие его зафиксировано в антимоните месторождений Кончоч, Джижикрут, менее — Гур-Дара, Кадамджай и некоторых других).

Таким образом, антимонит сурьмяно-ртутных и сурьмяных месторождений характеризуется значительным спектром элементов-примесей, изучение которых может дать ценный материал для познания отдельных вопросов процесса рудообразования и, в частности, для решения вопроса об источнике рудного вещества.

## КИНОВАРЬ

Киноварь — сульфид ртути, для которого известно несколько модификаций. Из них наиболее распространены  $\alpha$ -HgS тригональной сингонии и структур типа искаженной структуры NaCl или PbS, в которой ионы ртути окружены шестью ионами серы по искаженным октаэдрам. Киноварь — наиболее распространенный минерал ртути и практически единственный источник получения последней. В главной своей массе этот минерал образуется исключительно в гидротермальных условиях при относительно низких температурах, приводя к возникновению собственно ртутных или комплексных сурьмяно-ртутно-мышьяковых месторождений. Значительно реже и обычно в небольшом количестве киноварь встречается в гидротермальных кварцево-золоторудных, свинцово-цинковых и некоторых других типах месторождений, из которых ртуть может извлекаться попутно. В ртутьсодержащих месторождениях киноварь чаще наблюдается в виде вкрапленных неправильных по форме зерен, иногда в сплошных массах, а также в виде порошковатых примазок и налетов, реже — в кристаллах. Встречается она обычно в тесной ассоциации с антимонитом, пиритом, марказитом, кварцем, кальцитом, баритом, реже — реальгаром, аурипигментом, арсенопиритом, диккитом, иногда флюоритом и некоторыми другими минералами.

Киноварь содержит, как установлено при изучении сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии (Великий, Волгин, Иванов, 1967), значительное количество элементов-примесей: Se, Tl, Ga, Ge, In, Cd, Ag, Au, Zn, Cu, Pb и другие, из которых наиболее полные данные имеются для селена, образующего в ряде месторождений значительные концентрации. Киноварь является одним из главных минералов-концентраторов селена. В ртутных и сурьмяно-ртутных месторождениях Средней Азии наиболее высокое содержание селена, превышающее его кларк в земной коре (Виноградов, 1962) более чем в 100 000 раз, характерно для киновари ранней, ассоциирующей с кварцем, флюоритом, антимонитом. Меньшее его количество установлено в киновари относительно более поздней, выделявшейся совместно с кальцитом и баритом. В ранней киновари месторождения Хайдаркан содержание селена (среднее 2543,3 г/т) примерно в 5 раз выше, чем в поздней (среднее 542,3 г/т). Эти данные в общем согласуются с приведенными ранее.

Наиболее высокое содержание селена в киновари сурьмяно-ртутных и ртутных месторождений Средней Азии получено в кварц-флюорит-антимонит-киноварных, а наименьшее — в кварц-карбонат-киноварь-антимонитовых месторождениях (табл. 51).

Весьма близким к среднему содержанию селена в киновари кварц-антимонит-киноварного типа месторождений Средней Азии характеризуется киноварь некоторых сурьмяно-ртутных месторождений КНР (Ваньшань, Хуансен, Яньупин и др.), для которых содержание этого

Селен в киновари сурьмяно-ртутных и ртутных месторождений Средней Азии

Тип месторождения	Количество анализов	Содержание, г/т		
		от	до	среднее
Кварц-флюорит-антимонит-киноварный	214	115	6300	1314,7
Карбонат-киноварный . . . . .	50	30	2000	543,0
Кварц-диксит-(антимонит)-киноварный	12	Не обн.	736	118,0
Кварц-карбонат-киноварный . . . . .	23	Не обн.	350	30,4
Кварц-карбонат-киноварь-антимонитовый . . . . .	2	Не обн.	17	8,5

элемента равно, по данным Фан-Чи-дэ, Н. А. Озеровой и В. П. Федорчука, 1390 г/т (среднее по 25 анализам). Для этих месторождений установлено, что более высокое содержание селена, достигающее 8500 г/т, установлено в киновари из самых нижних рудовмещающих горизонтов рудных полей (участок Лэнфэндун в Ваньшане) или вблизи крупных нарушений (Хайдунцзы в Ваньшане, Дасиньдун в Хаунсене и др.). Эти участки отличаются относительно более сложным минеральным составом руд — присутствием, кроме киновари, антимонита, сфалерита и иногда блеклых руд. Иначе говоря, здесь, так же как и в комплексных сурьмяно-ртутных месторождениях Средней Азии, повышенным содержанием селена отличается относительно более высокотемпературная (ранняя) киноварь, находящаяся в ассоциации с антимонитом и некоторыми другими минералами.

Содержания селена в киновари кварц-диксит-(антимонит)-киноварных месторождений Средней Азии (118 г/т) и Кавказа (70 г/т) также мало отличаются, хотя среднеазиатская ртутная провинция и относится к селеноносной.

Весьма показательно, что содержание селена в поздней киновари кварц-флюорит-антимонит-киноварного комплекса месторождения Хайдаркан чрезвычайно близко содержанию этого элемента в киновари карбонат-киноварных месторождений Южной Ферганы (табл. 52). Такие близкие результаты свидетельствуют о том, что вычисленное нами среднее арифметическое содержание селена в поздней киновари является вполне правдоподобным. Этот вывод подтверждается и статистической обработкой имеющихся данных.

Таблица 52

Селен в поздней киновари разнотипных месторождений

Тип месторождений	Количество анализов	Содержание, г/т		
		от	до	среднее
Кварц-флюорит-антимонит-киноварный	100	115	1480	542,3
Карбонат-киноварный . . . . .	50	30	2000	543,0

Частичная математическая обработка аналитических данных показала сходство среднего арифметического содержания селена в киновари (ранней и поздней) кварц-флюорит-антимонит-киноварных месторождений и статистической оценки среднего содержания этого элемента (табл. 53).

Селен в киновари разных типов месторождений Средней Азии и Кавказа

Тип месторождения	Месторождения	Количество анализов	Содержание, г/т			$\bar{\theta}$	$\pm \lambda$
			от	до	среднее		
Кварц-флюорит-антимонит-киноварный	Чаувай* . . . . .	51	480	2050	1312	1312,0	94,0
	Хайдаркан* . . . . .	37	180	6300	1314,5		
	Хайдаркан** . . . . .	16	180	1480	594,6		
Карбонат-киноварный	Сымап . . . . .	13	50	900	490,0	478,5	94,4
	Адыш, Черекты, Адыр-Акоу, Шамыши . . . . .	9	30	850	336,9		
Кварц-карбонат-киноварный	Чонкой . . . . .	23	Не обн.	350	30,4	57,5	17,9
Кварц-диккит-(антимонит)-киноварный	Кончоч . . . . .	12	Не обн.	736	118,0		
Месторождения Кавказа . . . . .	16	Не обн.	165	70,0			
Кварц-карбонат-киноварь-антимонитовый	Джиджикрут . . . . .	2	Не обн.	17	8,5	—	—

\* При выводе средних содержаний учтены ранняя и поздняя разновидности киновари.

\*\* Учтена только киноварь поздняя.

Как среднеарифметическое, так и статистическая оценка средних содержаний селена в киновари позволили разделить изученные сурьмяно-ртутные месторождения на четыре группы (см. табл. 53), значительно отличающиеся по содержанию рассматриваемого элемента.

Таллий присутствует в киновари сурьмяно-ртутных месторождений в рассеянном состоянии и не дает в этом минерале повышенных концентраций. Содержание его в киновари изменяется от «не обнаружено» до 16 г/т (табл. 54), причем колебание его среднего содержания в данном минерале из месторождений разных типов невелико — от 1,7 до 6,4 г/т (среднее 4,7 г/т).

Таблица 54

Таллий в киновари сурьмяно-ртутных и ртутных месторождений Средней Азии

Тип месторождений	Количество анализов	Содержание, г/т		
		от	до	среднее
Кварц-флюорит-антимонит-киноварный	38	Не обн.	12	1,7
Карбонат-киноварный . . . . .	19	То же	16	6,4
Кварц-диккит-(антимонит)-киноварный	15	»	8	3,1
Кварц-карбонат-киноварный . . . . .	5	3	10	6,4
Кварц-карбонат-киноварь-антимонитовый . . . . .	15	Не обн.	12	6,0

Математическая обработка этих аналитических данных показала, что полученный ряд средних арифметических содержаний таллия по различным типам месторождений неоднороден и распадается на две группы со статистическими оценками средних содержаний, равными  $2,1 \pm 0,7$  г/т и  $6,2 \pm 1,3$  г/т (табл. 55). Из полученных данных следует, что содержание таллия в месторождениях с преобладающим развитием карбоната как жильного минерала почти в три раза выше, чем в других типах.

Таллий в киновари разных типов месторождений Средней Азии

Тип месторождения	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$
		от	до	среднее		
Кварц-флюорит-антимонит-киноварный . . .	38	Не обн.	12	1,7	2,1	0,7
Кварц-диксит-(антимонит)-киноварный . . .	15	Не обн.	8	3,1		
Карбонат-киноварный . . . . .	19	Не обн.	16	6,4	6,2	1,3
Кварц-карбонат-киноварь-антимонитовый . . .	15	Не обн.	12	6,0		
Кварц-карбонат-киноварный . . . . .	5	3	10	6,4	—	—

Недостаточное количество анализов по кварц-карбонат-киноварному (лиственитовому) типу месторождений не дает для этого типа статистическую оценку среднего содержания таллия в киновари. Однако величина среднего арифметического содержания этого элемента, почти совпадающая со статистической оценкой для карбонат-киноварного и кварц-карбонат-киноварь-антимонитового типов месторождений, позволяет распространить оценку ( $6,2 \pm 1,3$  г/т), полученную для этих двух типов месторождений, и на месторождения кварц-карбонат-киноварного типа.

Галлий и германий содержатся в киновари в количестве единиц г/т и ни в одном из рассматриваемых типов месторождений повышенных концентраций не дают (табл. 56).

Т а б л и ц а 56

Галлий и германий в киновари сурьмяно-ртутных и ртутных месторождений Средней Азии

Тип месторождения	Количество анализов	Ga, г/т			Количество анализов	Ge, г/т		
		от	до	среднее		от	до	среднее
Кварц-флюорит-антимонит-киноварный . . .	24	Не обн.	3	1,0	24	Не обн.	6	0,5
Кварц-диксит-(антимонит)-киноварный . . .	6	2	7	3,8	7	Не обн.	4	1,7
Карбонат-киноварный . . . . .	15	Не обн.	14	1,2	14	Не обн.	6	1,8
Кварц-карбонат-киноварь-антимонитовый . . . . .	8	Не обн.	6	1,4	7	Не обн.	4	0,6
Кварц-карбонат-киноварный . . . . .	5	Не обн.	2	0,8	4	Не обн.	2	0,5

Средние арифметические содержания галлия и германия в киновари рассматриваемых месторождений близки и равны соответственно 1,6 и 1,3 г/т. Статистические оценки средних содержаний также близки и составляют для Ga  $0,71 \pm 0,32$  г/т, а для Ge— $0,78 \pm 0,3$  г/т (в выводе статистических оценок не учтены данные по кварц-карбонат-киноварному типу из-за недостаточного количества анализов по нему).

Индий распределен в киновари более или менее равномерно. Среднее содержание его в разных типах сурьмяно-ртутных и ртутных месторождений находится в пределах 0,3—0,5 г/т, за исключением месторождения Чонкой, в котором оно оказалось значительно более низким (табл. 57).

Среднее арифметическое содержание индия в киновари рассматриваемых месторождений составляет 0,33 г/т, а статистическая оценка

## Индий в киновари сурьмяно-ртутных и ртутных месторождений Средней Азии

Тип месторождения	Количество анализов	Содержание, г/т		
		от	до	среднее
Кварц-флюорит-антимонит-киноварный . . . . .	23	Не обн.	4	0,47
Кварц-диккит-(антимонит)-киноварный . . . . .	5	0,2	0,6	0,34
Карбонат-киноварный . . . . .	13	0,2	0,66	0,31
Кварц-карбонат-киноварь-антимонитовый . . . . .	8	0,2	0,88	0,43
Кварц-карбонат-киноварный . . . . .	5	Не обн.	0,2	0,08

средних содержаний равна  $0,51 \pm 0,22$  г/т. Статистическая оценка получилась более высокой по сравнению со средним арифметическим, в связи с тем что при ее выводе не были учтены данные по кварц-диккит-(антимонит)-киноварному и кварц-карбонат-киноварному типам месторождений, по которым имеется недостаточно анализов.

Кроме рассмотренных редких элементов, в киновари содержатся многие другие элементы-примеси, изученные пока недостаточно. Математическая обработка результатов анализов по ним в связи с этим не производилась. К таким элементам-примесям относятся Ag, Au, Zn, Cd, Pb, Cu, Bi, Sn и др.

Серебро — постоянный элемент-примесь сурьмяно-ртутных и ртутных руд. В изучавшихся нами месторождениях Средней Азии максимальное количество этого элемента связано с киноварью, особенно ранней, отлагавшейся совместно с антимонитом и кварцем. Для киновари характерно содержание серебра в десятки — сотни г/т (по данным химического анализа). Спектральным анализом этот элемент обнаружен в 80% проб киновари (из общего количества анализировавшихся проб — 256). По частоте встречаемости серебра в группах анализированных проб киновари разных типов сурьмяно-ртутных и ртутных месторождений этот элемент можно сравнить только с медью, которая также обнаружена почти во всех изучавшихся пробах данного минерала. Разница в распространении этих двух элементов заключается в том, что для меди (при почти той же чувствительности анализа, что и для серебра) получено меньшее количество проб, в которых она не обнаружена. Однако если учесть, что кларк серебра почти в 700 раз ниже кларка меди (Виноградов, 1962), то приходится признать значительно более широкое распространение серебра в ртутных рудах, чем меди.

Рассмотрев распределение серебра в киновари отдельных типов сурьмяно-ртутных месторождений, можно сказать, что среднее содержание этого элемента в ранней киновари кварц-флюорит-антимонит-киноварного месторождения равно 40 г/т (по 7 пробам), а в поздней — 15 г/т (по 9 пробам); в кварц-диккит-(антимонит)-киноварном серебро обнаружено только в 8 пробах киновари из 19; в кварц-карбонат-киноварном месторождении Чонкой его содержание не превышает единиц г/т; в карбонат-киноварных оно обнаружено практически во всех пробах киновари в количестве единицы — первые десятки г/т; при этом несколько более повышенным содержанием серебра, по сравнению с остальными месторождениями данного типа, отличается киноварь месторождений Черекты (до 90 г/т) и Сымап (до 70 г/т).

Таким образом, серебро весьма широко распространено в рудах (в том числе в главных рудообразующих минералах) изучавшихся нами сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии. В комплексных кварц-флюорит-антимонит-киноварных месторождениях оно в больших количествах концентрируется в киновари, чем в антимоните.

Золото также является одним из обычных элементов-спутников сурьмяно-ртутных руд, в которых оно присутствует практически во всех рудообразующих минералах. Достаточно четко устанавливается более высокое содержание золота в антимоните по сравнению с киноварью. Однако в собственно ртутных месторождениях оно может иногда давать в киновари концентрации, вполне сопоставимые с содержанием его в антимоните сурьмяных и сурьмяно-ртутных руд. Содержание золота в киновари изменяется по данным химического анализа, от 0,05 до 4 г/т (табл. 58), при среднем значении около 0,6 г/т. Спектральным анализом золото обнаружено в киновари месторождений Джижикрут и Алыш.

Таблица 58

Золото в киновари сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии  
(данные химического анализа)

Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т		
		от	до	среднее
Хайдаркан . . . . .	6	0,09	0,42	0,29
Джижикрут . . . . .	2	0,46	0,82	0,64
Сымап . . . . .	1	—	—	0,16
Черекты . . . . .	1	—	—	1,1
Алыш . . . . .	1	—	—	4,0
Кончоч . . . . .	1	—	—	0,08
Кавнок . . . . .	1	—	—	0,20
Чонкой . . . . .	1	—	—	~0,05

Содержание меди в киновари колеблется (по данным приближенно-количественного спектрального анализа) от 10 до 500 г/т, составляя в среднем 100—200 г/т независимо от типа месторождения. Характерно, что для меди в отличие от других элементов-примесей не установлено различия в ее содержании в киновари ранней и поздней. Так, на месторождении Хайдаркан, где четко проявлены обе разновидности этого минерала, получено среднее содержание меди, равное 110 г/т как для ранней (7 анализов), так и поздней (9 анализов) киновари.

Цинк обнаружен в киновари многих месторождений, причем его содержание изменяется в весьма широких пределах (от «не обнаружено» до 10 000 г/т и более), что, возможно, связано с присутствием в ней микровключений цинксодержащих минералов. Наиболее высоким содержанием цинка (более 5000 г/т) характеризуется поздняя темная киноварь месторождения Джижикрут, ранняя киноварь (часто с примесью метациннабарита) Хайдаркана и киноварь карбонат-киноварного месторождения Черекты.

Кадмий обнаружить в киновари из-за низкой чувствительности анализа не всегда можно. Наибольшие концентрации его связаны с цинксодержащей киноварью. Так, его присутствие установлено в цинксодержащей темной киновари месторождения Джижикрут, в отдельных пробах киновари Хайдаркана, Чонкоя, Сымапа и других; в киновари месторождения Черекты кадмий обнаружен во всех трех проанализированных пробах.

Таким образом, намечается довольно тесная геохимическая связь между ртутью, цинком и кадмием. Киноварь нередко заражена цинком, а сфалерит из ртутно-сурьмяных и сурьмяных месторождений всегда несет примесь ртути; в тех пробах киновари, которые содержат повышенное количество цинка, почти всегда устанавливается более высокое содержание кадмия.

Свинец распределен в киновари сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии неравномерно, в связи с чем наблюдаются значительные колебания в его содержании как в пределах отдельных месторождений, так и их типов. Так, киноварь карбонат-киноварного месторождения Сымап содержит свинец в среднем около 600 г/т (по данным 5 проб), а месторождение того же типа — Черекты — около 5500 г/т (по 3 пробам). Примерно такие же количества свинца содержит киноварь кварц-карбонат-киноварного месторождения Чонкой. Для Хайдаркана получено более низкое содержание свинца: в киновари ранней — 138 г/т (по 6 пробам) и в поздней — 58 г/т (по 9 пробам).

Олово в киновари можно обнаружить не всегда, причем его содержание обычно редко превышает 10 г/т. Самое высокое содержание этого элемента было получено в киновари месторождения Кончоч, где его присутствие в количестве от 10 до 300 г/т установлено в 7 пробах из 19. Из девяти изучавшихся нами месторождений карбонат-киноварного типа олово обнаружено в киновари только двух месторождений: Сымап — 50 г/т (в одной из 14 проб) и Черекты — 3—10 г/т (во всех трех проанализированных пробах). В кварц-карбонат-киноварном месторождении Чонкой значащие содержания рассматриваемого элемента в количестве 10—80 г/т установлены в 6 из 12 проб киновари.

Висмут в киновари обнаружен как химическим, так и спектральными анализами в двух ртутных месторождениях — Теректы и Кавнок, а спектральным анализом (без проверки химическим) — в одной пробе киновари с Хайдаркана.

Молибден обнаружен только в единичных пробах киновари. Так, на Джижикруте его присутствие в количестве 3—8 г/т установлено в двух пробах, на Хайдаркане — в количестве 3—5 г/т в двух пробах из 16, месторождениях Сымап, Черекты, Кавнок — 3 г/т (только в отдельных пробах), а на месторождении Чонкой — 3—5 г/т во всех пяти проанализированных пробах киновари.

Вольфрам обнаруживается в киновари также редко. В количестве до 8 г/т он определен только в двух пробах киновари месторождения Джижикрут и одной пробе с месторождения Чонкой.

Спектральным анализом в киновари были также установлены: бериллий — в месторождениях Джижикрут и Кавнок; лантан — в киновари Хайдаркана, Чаувая, Кончоча; итрий — в киновари Хайдаркана.

## КАССИТЕРИТ

Касситерит содержит много важных редких элементов, концентрация которых в нем может быть настолько высокой, что позволяет рассматривать этот минерал как комплексный источник Ta, Sc, In и других элементов. Первые сведения о химическом составе касситеритов получены А. М. Болдыревой (1938, 1941), Я. Д. Готманом (1941). На основании работ Е. И. Доломановой, А. С. Дудыкиной (1959, 1960), Л. Ф. Борисенко (1959, 1961), В. И. Кузьмина (1966), А. В. Костерина (1966), И. Я. Некрасова, М. Г. Руб (1961, 1962), И. И. Четырбоцкой (1966), авторов данной книги и других получена первоначальная информация, позволяющая подойти к получению приближенных характеристик средних содержаний в касситерите некоторых элементов-примесей. При этом был использован как собственный аналитический материал, так и литературные данные.

Тантал и ниобий характеризуются четкими закономерностями распределения в касситерите. В табл. 59 приведены оценки средних содержаний тантала в касситеритах из месторождений различных формаций. Наиболее высокие оценки средних содержаний тантала характерны для касситеритов из редкометалльных гранитов — 13 261 г/т и редкометалльных пегматитов — 19 660 и 14 254 г/т (наиболее правдопо-

Тантал в касситеритах из месторождений различных оловорудных формаций

Оловорудная формация	Минерал, содержащий Та и Nb	Регион	Количество анализов	Содержание, г/т			±λ
				от	до	среднее	
Оловоносных гранитов	Касситерит, вольфрамит, колумбит	Приморье, Северо-Восток . . . . .	5	100	2 000	836	716
Редкометалльных гранитов	Касситерит, вольфрамит, колумбит, микролит, стрюверит	Восточная Сибирь, Нигерия . . . . .	12	770	38 400	13 261	6469
Пегматитовая Бериллий-танталовая	Касситерит, танталит, микролит, стрюверит, олово-танталит (воджинит), торолит, тапиолит	Кавказ . . . . .	19	8600	32 600	18 499	2925
		Казахстан . . . . .	11	8000	28 200	20 110	3758
		Забайкалье . . . . .	8	4200	23 400	13 137	4680
		Средняя Азия . . . . .	8	1700	18 900	6 112	4193
		Восточная Сибирь . . . . .	22	7500	21 000	14 234	1477
Бериллий-лигневая	Касситерит, колумбит-танталит, фергусонит, гатчеттолит	Восточная Сибирь . . . . .	2	200	800	500	—
Статистически разнородные оценки средних для бериллий-танталовых пегматитов		Кавказ, Казахстан, Забайкалье . . . . .	30	8000	32 600	19 088	7396
		Средняя Азия, Восточный Саян . . . . .	30	4200	23 400	13 941	1422
		Памир, Тянь-Шань . . . . .	8	1700	18 900	6 112	4193
Полевошпат-касситеритовая	Касситерит, колумбит, тапиолит	Восточное Забайкалье . . . . .	7	1200	6 200	3 472	1370
Топаз-касситеритовая	Касситерит, вольфрамит, колумбит, тапиолит	Восточное Забайкалье . . . . .	2	470	530	500	—
Кварц-касситеритовая	Касситерит, вольфрамит	Центральный Казахстан . . . . .	12	1000	3100	1606	348
		Средняя Азия . . . . .	2	Нет данных	—	520	—
		Восточное Забайкалье . . . . .	58	10	500	170	23
		Приморье . . . . .	5	180	350	243	64
		Якутия . . . . .	5	120	1200	520	407
		Чукотка . . . . .	23	Не обн.	180	50	19
		Средняя Азия . . . . .	3	Нет данных	—	1000	—
Статистически разнородные оценки средних для месторождений кварц-касситеритовой формации		Восточное Забайкалье, Приморье, Якутия . . . . .	68	10	1200	201	24
		Казахстан . . . . .	12	1000	3100	1606	348
		Чукотка . . . . .	23	Не обн.	180	50	19
		Средняя Азия . . . . .	2	Нет данных	—	520	—
		Средняя Азия . . . . .	3	Нет данных	—	1000	—
Силикатно-касситеритовая и сульфидно-касситеритовая	Касситерит, вольфрамит	Хабаровский край . . . . .	12	Не обн.	240	60	42
		Восточное Забайкалье . . . . .	5	Нет данных	—	55	—
		Приморье . . . . .	10	Не обн.	120	20	24
		Приморье . . . . .	16	Не обн.	50	25	6
Статистически разнородные оценки средних для месторождений силикатно-касситеритовой и сульфидно-касситеритовой формации		Хабаровский край, Восточное Забайкалье . . . . .	17	Не обн.	240	57	32
		Приморье . . . . .	26	Не обн.	120	23	6

Примечания. 1. Таблицы 59 и 60 составлены на основании классификации С. С. Смирнова (1937) и Е. А. Радкевич (1968) с учетом данных авторов книги. М. В. Кузьменко, И. И. Четырбоцкой, Я. Д. Готмана, Ив. Ф. Григорьева, Е. И. Доломановой и других исследователей по содержанию Та и Nb в касситеритах.

2. Деление пегматитов приведено по М. В. Кузьменко (1968).

## Ниобий в касситеритах из месторождений различных оловорудных формаций

Оловорудная формация	Минерал, содержащий тантал и ниобий	Регион	Количество анализов	Содержание, г/т			±λ
				от	до	среднее	
Оловоносных гранитов	Касситерит, вольфрамит, колумбит	Приморье, Северо-Восток . . . . .	4	300	7 500	2 672	3427
Редкометалльных гранитов	Касситерит, вольфрамит, колумбит, микролит, стрюверит	Восточная Сибирь, Нигерия . . . . .	9	1700	73 400	17 563	1577
Пегматитовая Бериллий-танталовая	Касситерит, танталит, микролит, стрюверит, олово-танталит (воджинит), торолит, тапиолит	Кавказ . . . . .	18	500	19 000	8 270	2350
		Казахстан . . . . .	15	7210	30 500	15 185	3393
		Забайкалье . . . . .	10	7700	19 100	16 250	2297
		Средняя Азия . . . . .	13	3300	19 000	9 596	2556
		Восточная Сибирь . . . . .	39	1150	25 000	9 931	1548
Бериллий-литиевая	Касситерит, колумбит-танталит, фергусонит, гатчетолит	Восточная Сибирь . . . . .	2	240	700	470	—
Статистически разнородные оценки средних для бериллий-танталовых пегматитовых		Кавказ, Казахстан, Восточная Сибирь . . .	70	500	25 000	9 442	213
		Забайкалье, Средняя Азия . . . . .	25	7210	30 500	15 611	566
Полевошпато-касситеритовая	Касситерит, колумбит, тапиолит	Восточное Забайкалье . . . . .	7	1 870	5 530	3 620	1004
Топаз-касситеритовая	Касситерит, вольфрамит, колумбит, тапиолит	Восточное Забайкалье, Чехословакия, ГДР .	7	10 200	16 000	12 086	1734
Кварц-касситеритовая	Касситерит, вольфрамит	Центральный Казахстан . . . . .	32	800	9200	4 342	702
		Средняя Азия . . . . .	2	Нет данных	—	1 700	—
			3	Нет данных	—	10 000	—
		Восточное Забайкалье . . . . .	58	500	2900	880	115
		Приморье . . . . .	5	800	6350	2 667	2091
		Якутия . . . . .	5	50	1770	1 074	649
		Чукотка . . . . .	34	20	870	380	68
Статистически разнородные оценки средних для месторождений кварц-касситеритовой формации		Восточное Забайкалье, Приморье, Чукотка .	97	20	6350	879	9,3
		Казахстан . . . . .	32	800	9200	4 342	702
		Средняя Азия . . . . .	2	Нет данных	—	1 700	—
		То же	3	Нет данных	—	10 000	—
Силикатно-касситеритовая и сульфидно-касситеритовая	Касситерит, вольфрамит	Хабаровский край . . . . .	12	Не обн.	850	248	118
		Восточное Забайкалье . . . . .	8	Нет данных	—	603	—
		Приморье (Хрустальное, Лифудзин и другие)	7	Не обн.	950	256	259
		Приморье (Ярославское и др.) . . . . .	23	Не обн.	200	63	21
Статистически разнородные оценки средних		То же	27	Не обн.	950	314	23

Примечание. 1. Таблица составлена на основании классификации С. С. Смирнова и Е. А. Радкевич с учетом данных, полученных авторами, а также М. В. Кузьменко, И. И. Четырбоцкой, Я. Д. Готмана, Ив. Ф. Григорьева, Е. И. Долмановой и других исследований. 2. Деление пегматитов приводится по М. В. Кузьменко (1968).

добное среднее  $\hat{\theta}$ , рассчитанное для группы месторождений: 1) Кавказа, Казахстана и Забайкалья и 2) Средней Азии и Восточной Сибири). В отличие от них касситериты из оловоносных гранитов и бериллий-литиевых пегматитов характеризуются более низкими содержаниями тантала (соответственно 836 г/т и 500—4090 г/т). Гораздо более низкое содержание тантала характерно для касситеритов из пневматолито-гидротермальных месторождений. Здесь наибольшие средние содержания характерны для касситеритов из месторождений полевошпато-касситеритовой формации (3472 г/т) и касситеритов из околожилльных грейзенов топазо-касситеритовых жил. В касситеритах из месторождений кварц-касситеритовой формации среднее содержание тантала составляет 50—1606 г/т. Для месторождений Восточного Забайкалья, Приморья, Якутии среднее содержание тантала в касситеритах этой формации составляет 172 г/т. Самое высокое среднее содержание его характерно для касситеритов из кварцевых жил месторождений Казахстана (1606 г/т) и самое низкое — для касситеритов Чукотки (50 г/т).

На одном из месторождений Чукотки кварц-касситеритовой формации было изучено распределение тантала и ниобия в касситеритах, взятых из различных рудных тел на разных горизонтах. Содержание  $Ta_2O_5$  и  $Nb_2O_5$  на II, III, IV горизонтах оказалось практически одинаковым и колеблется:  $Ta_2O_5$  — в пределах 10—160 г/т,  $Nb_2O_5$  140—370 г/т, 390 г/т). Таким образом, в касситеритах из гранитов и из руд глубоких гранитам, содержание  $Ta_2O_5$  и  $Nb_2O_5$  в касситерите увеличивается. В касситерите из гранитов, вскрываемых на VII горизонте, наблюдаются более высокие содержания  $Ta_2O_5$  и  $Nb_2O_5$  ( $Ta_2O_5$  — 100 г/т,  $Nb_2O_5$  — 390 г/т). Таким образом, в касситеритах из гранитов и из руд глубоких горизонтов, расположенных вблизи гранитов, содержания тантала и ниобия более высокие, чем в верхних горизонтах. Среднее отношение  $Ta:Nb$  в касситеритах из рудных тел на II горизонте составляет 1:24, на III—1:12, на IV—1:6, на V—1:5 и в гранитах VII горизонта 1:4, т. е. закономерно увеличивается с глубиной.

Увеличение содержаний  $Ta$  с глубиной отмечалось также для касситеритов из месторождений Приморья и Приамурья Н. Н. Никулиным.

Самые низкие содержания тантала характерны для касситеритов из гидротермальных месторождений. Среднее содержание  $Ta_2O_5$  для месторождений Приморья составляет 20—25 г/т, а для месторождений Хабаровского края и Восточного Забайкалья — 55—60 г/т.

Ниобий сходен с танталом по общим особенностям распределения в касситерите (табл. 60). Однако изменение его концентрации в том же ряду месторождений происходит не так существенно, как у тантала. В касситеритах из месторождений кварц-касситеритовой формации Центрального Казахстана отмечается наиболее высокое содержание  $Nb_2O_5$ —4342 г/т. Касситериты из кварцево-касситеритовых жил Чукотки, Приморья, Восточного Забайкалья характеризуются более низким содержанием  $Nb_2O_5$ —573 г/т ( $\hat{\theta}$ ). Для касситеритов из месторождений силикатно-касситеритовой формации Хабаровского края, Восточного Забайкалья, Приморья содержание ниобия не превышает 600 г/т ( $\hat{\theta}$ ). Для скарных месторождений, по немногочисленным данным, содержание  $Nb_2O_5$  в касситерите составляет 465 г/т.

Если для касситеритов из редкометалльных гранитов и пегматитов характерны более высокие содержания тантала и более высокое отношение  $Ta:Nb$ , то в пневматолито-гидротермальных и гидротермальных месторождениях соотношение изменяется: возрастает содержание ниобия, а отношение  $Ta:Nb$  уменьшается.

Приведенные данные подтверждают ранее высказанное предположение А. М. Болдырева (1939 г.), Я. Д. Гогмана (1941); М. В. Кузьменко (1959—1968), А. С. Дудыкиной (1959, 1960), И. И. Четырбоцкой

(1966) о том, что в процессах эндогенного минералообразования наблюдается закономерное уменьшение содержания тантала, ниобия и величины отношения Ta:Nb в касситеритах от более высокотемпературных генетических типов месторождений к более низкотемпературным. Меняются и формы нахождения этих элементов. В обогащенных танталом и ниобием разновидностях часто преобладают собственные минералы этих элементов, которые отсутствуют в обедненных разновидностях.

Кроме главных элементов-примесей тантала и ниобия, представляют интерес оценки средних содержаний следующих элементов-примесей, являющихся для касситерита типоморфными: Sc, Zr, Hf, Y, In и Ga.

Скандий характеризуется сходными с танталом и ниобием закономерностями распределения содержаний в касситерите (Борисенко, 1959, 1960). Однако данных для вывода надежных общих оценок среднего его содержания в касситеритах из большинства месторождений различных формаций еще недостаточно (табл. 61). Можно лишь ска-

Таблица 61

Скандий в касситеритах

Формация	Регион, месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			$\hat{\theta}$	$\pm \lambda$	
			от	до	среднее			
Пегматитовая	Южная Африка, Эронго, Поквеб . . . . .	5	—	—	Не обн.	—	—	
	Австралия, Вуджина . . . . .	2	—	—	Не обн.	—	—	
	Восточный Саян, Урикское, Бельское и др. . . . .	17	Не обн.	Не обн.	350	—	—	
	Калбинский хребет, Ак-Кезень и др. . . . .	7	—	—	Не обн.	—	—	
	Узбекистан, Наукинское . . . . .	5	—	—	Не обн.	—	—	
	Туркестанский хребет, Самжон . . . . .	2	—	—	Не обн.	—	—	
	Восточное Забайкалье . . . . .	4	—	—	Не обн.	—	—	
	Борщовочный краж . . . . .	13	—	—	1660	—	—	
	Калбинский хребет . . . . .	14	—	—	170	—	—	
	Туркестанский хребет . . . . .	5	—	—	Не обн.	—	—	
	Якутия, Такалкан . . . . .	2	Следы	1000	500	—	—	
	Кварц-касситеритовая	Якутия, Полярное . . . . .	32	10	1000	750	—	—
		Восточное Забайкалье, Этыка . . . . .	30	—	—	660	—	—
Центральный Казахстан, Кара-Оба . . . . .		20	Не обн.	110	—	—	—	
Восточное Забайкалье, Приваловское, Имамкинское и др. . . . .		23	Не обн.	250	—	—	—	
Силикатно-касситеритовая и сульфидно-касситеритовая	Восточное Забайкалье, Шерловая гора . . . . .	3	Не обн.	120	—	—	—	
	Хабаровский край, Солнечное . . . . .	4	—	—	Не обн.	—	—	
	Депутатское . . . . .	25	Не обн.	100	28	—	9,8	
	Якутия, Илингас . . . . .	8	—	—	Не обн.	—	—	
	Якутия, Эге-Хая . . . . .	11	—	—	Не обн.	—	—	
Якутия, Алыс-Хая, Киргилыя и др. . . . .	24	Не обн.	100	60	—	10		

зать, что наиболее высокие концентрации скандия характерны для касситеритов из пневматолито-гидротермальных месторождений. Содержание скандия в касситеритах из силикатно-касситеритовых и сульфидно-касситеритовых месторождений наиболее низкое и весьма невыдержанное.

Цирконий и гафний. Еще больше сходства с танталом и ниобием у циркония, содержание которого в касситерите, по данным спек-

тральных анализов А. С. Дудыкиной (1959), закономерно уменьшается по мере снижения температуры рудообразования (в г/т):

Оловоносные пегматиты . . . . .	2400
То же, грейзены . . . . .	1000
» кварцевые жилы . . . . .	500
Касситерит-силикат-сульфидные жилы . . . . .	30

По последним данным А. В. Костерина и др. (1966), касситерит, кроме циркония, содержит и гафний. Содержание его в касситеритах из различных типов оловорудных месторождений Дальнего Востока по этим данным составляет ( $\text{HfO}_2$ , г/т):

Пегматиты . . . . .	11
Грейзены . . . . .	43
Касситерит-кварцевые жилы . . . . .	0,5

Количественный спектральный анализ касситеритов из месторождений различных формаций показал, что наиболее высокие содержания циркония и гафния характерны для касситеритов из пегматитов, меньше их в касситеритах из месторождений кварц-касситеритовой формации и незначительные количества этих элементов отмечаются в касситеритах месторождений силикатно-касситеритовой и сульфидно-касситеритовой формаций (табл. 62).

Таблица 62

Цирконий и гафний в касситеритах

Формация	Район	Количество анализов	Zr, г/т			Количество анализов	Hf, г/т			ZrO <sub>2</sub> :HfO <sub>2</sub>
			от	до	среднее		от	до	среднее	
Пегматитовая	Восточный Саян . . . . .	11	90	700	380	11	10	90	50	7:1
	Восточный Казахстан . . . . .	7	100	600	420	7	10	240	90	5:1
	Восточное Забайкалье . . . . .	3	600	800	700	3	60	80	70	10:1
	Памир . . . . .	3	500	1000	700	3	40	200	110	6:1
Кварц-касситеритовая	Восточное Забайкалье . . . . .	1	—	—	260	1	—	—	20	—
	То же . . . . .	1	—	—	160	1	—	—	50	—
	Чукотка, Приморье . . . . .	23	20	1000	130	23	10	100	15	8,5:1
Силикатно-касситеритовая и сульфидно-касситеритовая	Якутия . . . . .	4	10	160	50	4	—	—	10	—
	Хабаровский край . . . . .	2	10	20	15	2	—	—	10	—
	Приморье . . . . .	1	—	—	15	1	—	—	30	—

Иттрий. Во всех изученных касситеритах количественным спектральным анализом был установлен иттрий (табл. 63), содержание которого незначительно превышает чувствительность анализа (0,0004%). Наиболее высокие содержания иттрия характерны для касситеритов пегматитовой, силикатно-касситеритовой и сульфидно-касситеритовой формаций.

Индий распространен в касситерите довольно широко, но его распределение изучено в основном для месторождений силикатно-касситеритовой и сульфидной формаций (табл. 64). Для них в результате статистической обработки всего имеющегося материала получена общая наиболее вероятная оценка среднего содержания, равная 20 г/т.

Приведенные оценки содержания индия характеризуют наиболее широко распространенные кристаллические разновидности касситерита. В некоторых гидротермальных месторождениях сульфидно-касситеритовой

## Иттрий в касситеритах

Формация	Район	Количество анализов	Содержание, г/т		
			от	до	среднее
Пегматитовая	Восточный Саян . . . . .	11	4	12	6
	Восточный Казахстан . . . . .	7	4	8	5
	Восточное Забайкалье . . . . .	3	4	6	5
	Памир . . . . .	3	4	15	8
Кварц-касситеритовая	Восточное Забайкалье . . . . .	2	4	4	4
	Чукотка, Приморье . . . . .	23	4	8	4
Силикатно-касситеритовая и сульфидно-касситеритовая	Якутия . . . . .	4	4	10	5
	Хабаровский край . . . . .	2	5	14	9
	Приморье . . . . .	1	—	—	13

Таблица 64

## Индий в касситеритах

Формация	Район	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			
				от	до	среднее	
Редкометалльных гранитов	Якутия	Кестер . . . . .	3	14	47	34	
Пегматитовая	Восточный Казахстан, Восточный Саян	Ак-Кезень . . . . .	1	—	—	2	
		Кармен-Куус . . . . .	2	30	31	30	
		Кара-Оба . . . . .	1	—	—	28	
Кварц-касситеритовая	Восточный Казахстан	Кара-Оба . . . . .	1	—	—	67	
		Восточное Забайкалье	Ималкинское . . . . .	1	—	—	1
Силикатно-касситеритовая и сульфидно-касситеритовая	Восточное Забайкалье Якутия	Шерловогорское . . . . .	5	2	40	22	
		Депутатское, Илинтас, Бургачан, Бургавли, Алыс-Хая, Эге-Хая и др. . . . .	26	2	76	23	
	Северо-Восток СССР	Чапаевское, Лазо, Галимый, Б. Каньон, Валькумей и др. . . . .	7	25	50	33	
		Приморье	Лифудзин, Хрустальное, Ново-Монастырское . . . . .	38	5	55	27
	Хабаровский край	Солнечное, Фестивальное, Перевальное, Придорожное . . . . .	15	3	30	9	
		Боливия	Ляллягуа . . . . .	—	—	—	—
		Англия	Корнуэлл . . . . .	5	2	40	22

Примечание. В касситеритах из месторождений СССР силикатно-касситеритовой и сульфидно-касситеритовой формаций содержание индия при количестве анализов 91 составляет от 2 до 76 г/т (в среднем 23 г/т) и имеет статистические оценки  $\bar{\theta}=20$ ,  $\lambda=4$ .

формации, образовавшихся в наиболее близповерхностных условиях, широко распространен так называемый деревянистый касситерит колломорфной структуры. В отличие от кристаллических разновидностей деревянистый касситерит содержит значительно более высокие концентрации индия — от 190 до 13500 г/т (Комарова, Новороссова, 1963). В образцах с наиболее высоким содержанием индия в колломорфном касситерите обнаружена примесь индиевых минералов (Генкин, Муравьева, 1963).

Галлий также постоянно присутствует в касситерите (Вершковская, 1963; Иванов, 1966). Его содержание в касситеритах из месторождений силикатно-касситеритовой и сульфидно-касситеритовой формаций может быть охарактеризовано единой статистической оценкой, равной 36 г/т (табл. 65).

Таблица 65

Галлий в касситеритах

Формация	Район	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т		
				от	до	среднее
Редкометалльных гранитов	Якутия	Кестер . . . . .	2	31	50	40
Пегматитовая	Восточная Сибирь	Урикское, Бельское и др. .	11	4	12	6
		Ак-Кезень, Баймурза и др. .	7	4	40	14
	Восточный Казахстан	М. Кулиндинское . . . . .	3	5	15	10
		Восточное Забайкалье	Памир —	3	4	100
Кварц-касситеритовая	Восточное Забайкалье	Ималкинское . . . . .	1	4	—	—
		Чукотка, Приморье	Иультин . . . . .	23	4	4
Силикатно-касситеритовая и сульфидно-касситеритовая	Якутия	Депутатское, Эге-Хая . . .	5	25	44	37
		Приморье	Лифудзин, Хрустальное, Силинское . . . . .	20	20	80
	Хабаровский край	Солнечное, Фестивальное . .	2	19	31	25

Примечание. В касситеритах силикатно-касситеритовой и сульфидно-касситеритовой формации содержание галлия при количестве анализов 27 составляет от 19 до 80 г/т, в среднем 35 г/т и имеет статистические оценки  $\bar{\theta}=36$ ,  $\lambda=4$ .

По данным количественного спектрального анализа все изученные нами касситериты содержат повышенные количества висмута. Так, в касситеритах из пегматитов содержание его колеблется от 4 до 80 г/т, в касситеритах из месторождений кварцево-касситеритовой формации в среднем составляет 14 г/т (чувствительность анализа 0,0004%).

Кроме перечисленных элементов-примесей, широко распространенных в касситерите, в нем отмечают небольшие количества других элементов, распределение которых изучено гораздо слабее. Это германий, его содержание составляет первые единицы г/т, а также серебро и другие, закономерности распределения которых еще не выяснены.

Е. И. Долманова (Берзина, Долманова, 1967) при изучении касситеритов из различных формаций установила повышенные содержания урана и тория, причем в касситеритах из пегматитов содержание урана выше, чем в касситеритах из месторождений силикатно-касситеритовой и сульфидно-касситеритовой формаций (7—21 г/т в пегматитовых месторождениях и 6 г/т в касситеритах из месторождений сульфидно-касситеритовой формации).

## ВОЛЬФРАМИТ

В состав вольфрамитов в виде изоморфной примеси или минералов-включений входят различные элементы-примеси: Ta, Nb, Sc, In, Ga и др. Для некоторых элементов вольфрамиты могут служить дополнительным источником сырья. Это видно из исследований последних

лет (Быбочкин и др., 1963; Быховский, 1965; Барабанов, 1966; Четырбоцкая, 1966 и др.).

Месторождения вольфрамитов образуются в различные этапы эндогенного минералообразования. На основе существующих классификаций вольфрамовых месторождений попытаемся выявить количественные пределы вхождения тантала и ниобия в вольфрамиты различных рудных формаций.

Наряду с данными авторов книги обобщены литературные сведения по отдельным определениям тантала и ниобия в вольфрамитах, имеющих четкую генетическую привязку. В связи с тем что тантал и ниобий сопутствуют друг другу во всех природных процессах и геохимические признаки их близки, мы рассмотрим эти элементы совместно. Наиболее высокие содержания тантала и ниобия отмечаются в вольфрамитах из месторождений грейзеновой формации, представленных зонами грейзенизации в редкометальных гранитах с подчиненным развитием кварц-полевошпатовых, берилло-кварцевых и кварцевых жил.

Акцессорный вольфрамит из оловоносных гранитов содержит 300 г/т  $Ta_2O_5$  и 4530 г/т  $Nb_2O_5$  (табл. 66, 67). В вольфрамите из редкометальных гранитов (апогранитов — Беус и др., 1962) среднее содержание составляет 3300 г/т  $Ta_2O_5$  и 6235 г/т  $Nb_2O_5$ . Среднее содержание  $Ta_2O_5$  и  $Nb_2O_5$  в вольфрамитах из зон грейзенов, полевошпат-кварцевых и берилло-кварцевых жил грейзеновой формации иногда возрастает более чем в 2 раза по сравнению с вольфрамитом из редкометальных гранитов. Среднее содержание  $Ta_2O_5$  колеблется от 1100 до 5670 г/т,  $Nb_2O_5$  от 2100 до 13 950 г/т. Как следует из материалов И. И. Четырбоцкой (1966), для одного и того же рудного узла содержание тантала и отношение  $Ta:Nb$  в вольфрамитах более высокотемпературных полевошпат-кварцевых жил является более высоким, чем в вольфрамитах более низкотемпературных кварцевых жил.

В вольфрамитах кварцевых жил, связанных с оловоносными гранитами, средние содержания  $Ta_2O_5$  более низкие и составляют для группы месторождений Восточной Сибири и Чукотки 222 г/т, а для месторождений Казахстана 423 г/т. Наиболее высоко среднее содержание  $Ta_2O_5$  — 690 г/т характерно для вольфрамитов Кара-Обинского месторождения (Центральный Казахстан). Среднее содержание ниобия в этом типе месторождений тоже снижается, но не так значительно, как для тантала. Наиболее правдоподобное среднее  $\theta$  для месторождений Казахстана составляет 2505 г/т, а самое высокое среднее содержание  $Nb_2O_5$  — 7433 г/т характерно для вольфрамитов из кварцевых жил Куу.

Для вольфрамитов из месторождений силикатно-касситеритовой формации количество данных крайне ограничено. Проведенное нами изучение вольфрамитов из месторождений этой формации показывает, что тантал и ниобий содержатся здесь обычно в количествах меньших, чем предел чувствительности химического анализа (0,001% или 10 г/т).

Скандий наблюдается в вольфрамитах месторождений различных формаций (Дудыкина, 1960; Борисенко, 1958, 1960 и др.). Имеется незначительное количество данных по содержанию скандия в вольфрамитах из пегматитовых месторождений. По И. Я. Некрасову, в пегматитовых жилах Такалкана (Якутия) среднее содержание скандия составляет 1200 г/т. Весьма высокие концентрации его содержат вольфрамиты из месторождений грейзеновой формации (табл. 68). Так, для высокотемпературных грейзеновых месторождений Чехословакии характерны содержания 2600 г/т, Якутии — 680 г/т, некоторых месторождений Забайкалья — 40 г/т и Казахстана — 206 г/т. В месторождениях силикатно-касситеритовой формации скандий в вольфрамитах образует незначительные концентрации. Среднее содержание его не превышает 4 г/т.

Тантал в вольфрамитах из месторождений различных формаций

Формация	Тип месторождения	Минерал, содержащий тантал	Регион	Количество анализов	Содержание, г/т			±λ
					от	до	среднее	
Оловоносных гранитов	—	Вольфрамит, касситерит, колумбит	Чукотка . . . . .	3	260	360	300	—
Редкометалльных гранитов	—	Вольфрамит, касситерит, колумбит, микролит, стрюверит	Восточная Сибирь . . . . .	10	—	—	3300	—
Грейзеновая	Грейзеновый	Вольфрамит, касситерит, колумбит	Восточная Сибирь . . . . .	57	1520	8540	4115	341
			Приморье . . . . .	2	3740	7600	5670	—
			Якутия . . . . .	1	—	—	1100	—
	Полевошпат-кварцевый	Вольфрамит, касситерит, колумбит	Восточная Сибирь . . . . .	32	40	8900	5658	674
			Восточная Сибирь . . . . .	56	800	6000	3261	256
	Берилл-кварцевый	Вольфрамит, касситерит	Восточная Сибирь . . . . .	27	Не обн.	1600	220	151
			Казахстан . . . . .	57	30	1600	690	76
	Кварцевый	Вольфрамит, касситерит	Казахстан . . . . .	19	Не обн.	1780	257	220
			Казахстан . . . . .	32	110	650	256	45
			Приморье . . . . .	6	230	480	440	79
Чукотка . . . . .			10	30	1110	227	218	
Якутия . . . . .			9	30	55	43	5	
Статистически разнородные оценки средних из кварцевого типа месторождений			Восточная Сибирь, Чукотка . . . . .	37	Не обн.	1600	222	27
			Казахстан . . . . .	108	Не обн.	1780	423	8
			Приморье . . . . .	6	230	480	440	79
			Якутия . . . . .	9	30	55	43	5
Силикатно-касситеритовая	—	Вольфрамит, касситерит	Хабаровский край . . . . .	3	Не обн.	Не обн.	Не обн.	—

Примечание. Таблицы 66 и 67 составлены с учетом данных авторов книги, а также М. В. Кузьменко, И. И. Четырбоцкой, А. М. Быбочкина и других исследователей.

## Ниобий в вольфрамитах из месторождений различных формаций

Формация	Тип месторождения	Минерал, содержащий ниобий	Регион	Количество анализов	Содержание, г/т			±λ
					от	до	среднее	
Оловоносных гранитов	—	Вольфрамит, касситерит, колумбит	Чукотка . . . . .	1	—	—	4530	—
Редкометалльных гранитов	—	Вольфрамит, касситерит, колумбит, микролит, стрюверит	Восточная Сибирь . . . . .	14	3300	10 000	6235	1031
Грейзеновая	Грейзеновый	Вольфрамит, касситерит, колумбит	Восточная Сибирь . . . . .	57	4 000	18 400	9 464	699
			Приморье . . . . .	2	11 900	16 000	13 950	—
			Якутия . . . . .	1	—	—	2 100	—
	Полевошпат-кварцевый	Вольфрамит, касситерит, колумбит	Восточная Сибирь . . . . .	32	130	18 000	8 658	1487
			Восточная Сибирь . . . . .	59	3 300	12 000	5 008	411
	Берилл-кварцевый	Вольфрамит, касситерит	Восточная Сибирь . . . . .	27	Не обн.	11 020	2 251	1041
			Казахстан . . . . .	57	800	10 600	4 910	476
			Казахстан . . . . .	19	480	9 500	2 700	1099
			Казахстан . . . . .	30	2 060	13 450	7 433	997
			Приморье . . . . .	6	2 700	6 750	3 375	1278
			Чукотка . . . . .	10	180	4 700	1 286	911
	Кварцевый	Вольфрамит, касситерит	Якутия . . . . .	2	130	500	315	—
			Казахстан (Кара-Оба) . . . . .	57	800	10 600	4910	476
Статистически разнородные оценки средних по вольфрамитам из кварцевого типа месторождений			Казахстан (Акмая и др.) . . . . .	52	Не обн.	11 020	2545	155
			Приморье, Восточная Сибирь, Казахстан (Куу) . . . . .	30	2060	13 450	7433	997
			Чукотка . . . . .	10	180	4 700	1286	911
			Якутия . . . . .	2	130	500	315	—
			Хабаровский край . . . . .	3	Не обн.	Не обн.	Не обн.	—
Силикатно-касситеритовая	—	Вольфрамит, касситерит	Хабаровский край . . . . .	3	Не обн.	Не обн.	Не обн.	—

## Скандий в вольфрамитах

Формация	Регион	Месторождение	Количество анализов	Содержание, г/т			±λ
				от	до	среднее	
Пегматитовая	Якутия	Такалкан . . . . .	2	500	2000	1200	—
Грейзеновая	Чехословакия	Циннвальд . . . . .	11	—	—	2600	—
		Восточное Забайкалье	Грейзен . . . . .	1	—	—	730
	Казахстан	Кварцевые жилы . . . . .	8	30	40	31	2
		Кара-Оба . . . . .	50	Не обн.	700	200	38
		Акчатау . . . . .	120	50	1200	550	
		Северный Коунрад . . . . .	9	50	700	240	146
	Восточное Забайкалье	Байназар . . . . .	11	100	750	620	120
		Букука, Белуха, Антонова Гора и др. . . . .	26	Не обн.	100	435	10
			Шерловогорское . . . . .	15	50	700	490
	Чукотка	Иультин . . . . .	2	500	500	500	—
Якутия	Омчикандя . . . . .	8	700	1000	680	73	
	Олохтох и др. . . . .	6	Не обн.	2000	170	631	
Статистически разнородные оценки средних грейзеновой формации		Спокойное, Букука и др. . . . .	34	Не обн.	100	40	6
		Кара-Оба, Северный Коунрад и др. . . . .	59	Не обн.	700	206	5
		Акчатау, Байназар, Омчикандя . . . . .	120	50	1200	550	—
		Шерловогорское . . . . .	15	50	700	490	95
		Иультин . . . . .	2	500	500	500	—
		Олохтох и др. . . . .	6	Не обн.	2000	170	631
Силикатно-касситеритовая	Якутия	Депутатское . . . . .	6	Не обн.	25	4	8
		Илинтас, Алыс-Хая . . . . .	16	Не обн.	25	3	3
Статистически разнородные оценки средних силикатно-касситеритовой формации			22	Не обн.	25	3	0,26

Количество сведений по распределению в вольфрамите других элементов-примесей еще более ограничено. В литературе приведены данные о наличии в вольфрамитах бериллия. Например, вольфрамиты из кварцевых жил Акмаинского месторождения (Центральный Казахстан), по данным 8 анализов, характеризуются средним содержанием  $Be$  30 г/т (Щерба, 1967).

В вольфрамитах грейзеновой формации в небольших количествах присутствуют  $Tl$ ,  $Ag$ ,  $Ga$ ,  $In$  (табл. 69). Данные по содержанию этих элементов имеются лишь для одного типа месторождений (Попова, 1967). Индий довольно характерен для вольфрамитов месторождений силикатно-касситеритовой формации, причем его среднее содержание для Якутии составляет 8 г/т (Иванов, 1964).

В вольфрамитах некоторых типов месторождений присутствуют редкоземельные элементы иттриевой группы до 300 г/т (Геохимия редких элементов, 1964), но данные по содержанию этих элементов крайне малочисленны. Таким образом, для основных элементов-примесей тантала и ниобия устанавливаются четкие закономерности: наиболее высокие концентрации тантала и ниобия (6200 г/т  $Ta_2O_5$  и 14 000 г/т

Таллий, серебро, галлий и индий в вольфраматах

Формация	Регион	Месторождение	Количество анализов	Элемент	Содержание, г/т			±λ
					от	до	среднее	
Грейзеновая	Казахстан	Кара-Оба, Акмая др.	18	Tl	Следы	46	5	6
		То же	18	Ag	3	161	52	20
		»	18	Ga	1	3	1	
		»	13	In	0,7	16	6	3
Силикатно-касситеритовая	Якутия	Депутатское, Алыс-Хая, Иллингас и др.	5	In	3	16	8	5

$Nb_2O_5$ ) наблюдаются в вольфраматах из грейзеновых месторождений, а также из полевошпат-кварцевых и берилло-кварцевых жил. В вольфрамите из кварцевых жил — производных оловоносных гранитов — содержание  $Ta_2O_5$  изменяется от 43 до 690 г/т, в среднем составляя 200—400 г/т, а  $Nb_2O_5$  — от 220 до 7400 г/т, в среднем 2500 г/т, при отношении Ta:Nb, равном 1:8—1:20. В вольфраматах гидротермальных месторождений силикатно-касситеритовой формации содержание обоих элементов ниже 0,001%. Данные по остальным элементам приведены в табл. 69.

### НЕФЕЛИН

Число постоянно присутствующих в нефелинах редких элементов невелико. К ним относятся Li, Rb, Sr, Ba, Be и Ga. Значительно реже и в меньших количествах отмечаются Cs, Zr, Nb, V, Ti и другие элементы. Положение редких элементов в структуре нефелина не установлено. А. А. Кухаренко (Кухаренко и др., 1965) были предложены следующие возможные схемы изоморфизма:  $Na \leftarrow Li$ ;  $NaAl \leftarrow CaBe$ . По аналогии с уже известными схемами для остальных постоянно присутствующих редких элементов возможны схемы  $Ca \leftarrow Sr$ ;  $K \leftarrow Rb$ ;  $Al \leftarrow Ga$ . Вероятно, из-за незначительных содержаний редких элементов в нефелинах нельзя установить определенные корреляционные связи между их содержаниями и основными, слагающими нефелин, элементами. Исключение составляет стронций, содержания которого повышены в нефелинах, обогащенных кальцием.

Нами были рассчитаны средние содержания ряда редких элементов в нефелинах из различных формаций щелочных пород. Формационное деление принято по Л. С. Бородину (Бородин и др., 1970), который выделяет два генетических типа щелочных магм и, соответственно, две формации — щелочно-гранитоидную и щелочно-габброидную. Из состава последней выделена и рассматривается отдельно субформация калиевых щелочных базальтоидов, обособляющаяся по петрохимическим и минералого-петрографическим признакам.

В работе использовались в основном материалы авторов данной книги, а также разрозненные сведения, имеющиеся в литературе (Козырева, 1962; Дудкин и др., 1964; Волков и др., 1962; Ильинский и др., 1968; Самойлова, 1962; Ставров, Портнов, 1965; Еськова и др., 1964; Андреева, 1962, 1968; Тихоненкова и др., 1970; Бекботаев, Макаров, 1966; Erickson, Blade, 1963).

Наибольшим количеством проб представлены нефелины из пород щелочно-габброидной формации. Полученные по этой формации средние значения наиболее точно отражают содержания редких элементов. Средние содержания редких элементов в нефелинах из щелочно-гранитоидной формации и субформации калиевых щелочных базальтоидов, ввиду ограниченного числа рассматриваемых проб, носят предварительный характер. Оценки средних содержаний приведены в таблицах 70—78. Основные закономерности распределения в нефелинах элементов-примесей рассмотрены ниже.

Литий. Содержание лития в нефелинах определяется тысячными и десятитысячными долями процента. Сопоставление средних его содержаний по формациям щелочных пород (табл. 70) показывает, что наи-

Таблица 70

Литий в нефелинах

Регион	Порода	Количество анализов	Содержание, г/т		
			от	до	среднее
<b>Щелочно-габброидная формация</b>					
Восточная Сибирь	Нефелин-пироксеновые . . . . .	4	5	20	10
Якутия	Ййолиты, ййолит-порфиры . . . . .	5	5	40	13
Полярная Сибирь	Нефелин-пироксеновые, нефелин-мелилитовые . . . . .	9	Не обн.	10	5
Кольский п-ов	Нефелиновые сиениты . . . . .	8	6	30	18
	Ййолит-уртиты . . . . .	47	3	50	6
Кузнецкий Алатау	Уртиты . . . . .	1	—	20	20
Африка	Нефелиниты . . . . .	6	Не обн.	5	<5
Финляндия	Ййолиты . . . . .	2	<5	5	<5
Среднее . . .		82	Не обн.	50	10
<b>Щелочно-гранитоидная формация</b>					
Южный Урал	Миаскиты, миаскитовые пегматиты . .	28	5	130	45
Туркестано-Алай	Нефелиновые сиениты . . . . .	4	20	240	120
Канада	Канадиты . . . . .	1	—	30	30
Норвегия	Нефелиновые сиениты . . . . .	2	5	5	5
Среднее . . .		35	5	240	50
<b>Калиевая щелочно-базальтоидная субформация</b>					
Северное Прибайкалье	Нефелиновые сиениты, сынниты . .	14	5	20	12
Кавказ	Нефелиновые сиениты . . . . .	2	30	100	65
Якутия	Нефелиновые сиениты . . . . .	2	210	370	290
Среднее . . .		18	5	370	48
Среднее по всем формациям . . .		135	Не обн.	370	25

более обогащены этим элементом нефелины из пород щелочно-гранитоидной формации, тогда как в нефелинах щелочно-габброидной формации содержание лития минимальное.

Однако наблюдающееся обогащение литием нефелинов щелочно-гранитоидной формации незначительное и обычно не превышает кларкового содержания этого элемента.

Рубидий. В распределении рубидия наблюдается полная аналогия с литием (табл. 71). Повышенные содержания его характерны для

## Рубидий в нефелинах

Регион	Порода	Количество анализов	Содержание, г/т		
			от	до	среднее
Щелочно-габброидная формация					
Восточная Сибирь	Нефелин-пироксеновые . . . . .	10	<50	100	80
Полярная Сибирь	Нефелин-пироксеновые, нефелин-мелилитовые . . . . .	18	20	200	100
Якутия	Ийолиты, ийолит-порфиры . . . . .	5	<50	90	70
Кольский п-ов	Ийолит-уртиты . . . . .	44	<50	500	180
	Нефелиновые сиениты . . . . .	33	30	480	230
Кузнецкий Алатау	Уртиты . . . . .	2	<50	60	50
Африка	Нефелиниты . . . . .	6	<50	110	70
Финляндия	Ийолиты . . . . .	2	50	80	60
Гренландия	Уртиты . . . . .	2	200	300	250
	Среднее . . . . .	122	<50	500	121
Щелочно-гранитоидная формация					
Южный Урал	Миаскиты, миаскитовые пегматиты . . . . .	15	30	440	240
Туркестано-Алай	Нефелиновые сиениты . . . . .	4	180	300	250
Канада	Канадиты . . . . .	1	—	<50	<50
Норвегия	Нефелиновые сиениты . . . . .	2	60	100	80
	Среднее . . . . .	22	30	440	155
Калиевая щелочно-базальтоидная субформация					
Северное Прибайкалье	Нефелиновые сиениты, сынныриты . . . . .	14	Не обн.	890	210
Кавказ	Нефелиновые сиениты . . . . .	2	80	100	90
Якутия	Нефелиновые сиениты . . . . .	1	—	220	220
Средняя Азия	Нефелиновые сиениты . . . . .	1	—	410	410
	Среднее . . . . .	18	—	890	232
	Среднее по формациям . . . . .	162	—	890	169

нефелинов щелочно-гранитоидной формации, но и они незначительно превышают кларковое содержание этого элемента.

Стронций. Повышенные содержания стронция характерны для нефелинов из пород щелочно-габброидной формации, минимальные — в щелочно-гранитоидной формации (табл. 72). Сравнение полученных средних содержаний стронция с кларковым показывает, что даже в обогащенных им нефелинах это содержание почти в два раза ниже кларкового.

Бериллий в нефелинах содержится в десятитысячных, редко тысячных долях процента. В отличие от всех рассматриваемых нами элементов не наблюдается явной приуроченности этого элемента к той или другой формации щелочных пород (табл. 73). Можно лишь предполагать, что максимальные его содержания будут присущи нефелинам субформации калиевых щелочных базальтоидов. В целом содержание бериллия в нефелинах равно кларковому.

Галлий. Максимальные содержания галлия соответствуют нефелинам щелочно-гранитоидной формации, а минимальные — нефелинам субформации калиевых щелочных базальтоидов. Галлий — единствен-

## Стронций в нефелинах

Регион	Порода	Количество анализов	Содержание, г/т		
			от	до	среднее
Щелочно-габброидная формация					
Восточная Сибирь	Нефелин-пироксеновые . . . . .	8	200	750	410
Якутия	Ийолиты . . . . .	4	< 50	1360	470
Полярная Сибирь	Нефелин-пироксеновые . . . . .	40	30	1660	400
Кольский п-ов	Нефелиновые сиениты, полевошпатовые ийолиты . . . . .	12	20	4200	1330
Кузнецкий Алагау	Ийолиты, уртиты . . . . .	7	100	5000	1380
Финляндия	Ийолиты . . . . .	2	Не обн.	210	100
Гренландия	Уртиты . . . . .	2	60	500	280
Северная Америка	Ийолиты . . . . .	4	1200	4000	2300
	Среднее . . . . .	79	Не обн.	5000	830
Щелочно-гранитоидная формация					
Южный Урал	Миаскиты . . . . .	2	100	100	100
Норвегия	Нефелиновые сиениты . . . . .	2	Не обн.	100	50
	Среднее . . . . .	4	Не обн.	100	75
Калиевая щелочно-базальтоидная субформация					
Северное Прибайкалье	Нефелиновые сиениты, сынныриты . . . . .	10	70	540	270
Кавказ	Нефелиновые сиениты . . . . .	1	—	1080	1080
	Среднее . . . . .	11	—	1080	340
	Среднее по всем формациям . . . . .	94	Не обн.	5000	415

ный из всех рассматриваемых элементов, который концентрируется в нефелине. В нефелине из щелочно-гранитоидной формации его содержание превышает кларковое примерно в два раза, щелочно-габброидной формации его содержание равно или несколько больше кларкового (табл. 74).

В таблицах 75, 76 и 77 приведены примерные средние содержания в нефелинах Ba, Cs и Zr. Поскольку фактический материал по содержаниям этих элементов в нефелинах очень ограничен, формационная их приуроченность не рассматривалась.

Помимо элементов, рассмотренных выше, для нефелинов известны отдельные определения Ti, Mn, V и т. д. Все они приведены в табл. 78. Сведения по остальным элементам в нефелинах отсутствуют.

Из обобщенных статистических данных по содержаниям редких элементов в нефелинах можно сделать ряд выводов.

## Бериллий в нефелинах

Регион	Порода	Количество анализиров	Содержание, г/т		
			от	до	среднее
Щелочно-габброидная формация					
Восточная Сибирь	Нефелин-пироксеновые . . . . .	9	2	8	4
Якутия	Ийолиты, ийолит-порфиры . . . . .	7	5	10	8
Полярная Сибирь	Нефелин-мелилитовые . . . . .	3	<1	<1	<1
Кольский п-ов	Ийолит-уртиты . . . . .	20	Не обн.	20	7
	Нефелиновые сиениты . . . . .	5	3	30	10
Кузнецкий Алатау	Уртиты, ийолиты . . . . .	6	2	5	4
Гренландия	Уртиты . . . . .	1	—	3	3
Африка	Нефелиниты . . . . .	5	1	3	2
Северная Америка	Ийолиты . . . . .	4	Не обн.	5	3
Финляндия	Ийолиты . . . . .	2	1	4	2
Среднее . . . . .		62	Не обн.	30	4
Щелочно-гранитоидная формация					
Южный Урал	Миаскиты, миаскитовые пегматиты . . . . .	11	Не обн.	3	2
Норвегия	Нефелиновые сиениты . . . . .	2	1	2	2
Канада	Канадиты . . . . .	1	—	4	4
Среднее . . . . .		14	Не обн.	4	2
Калиевая щелочно-базальтоидная субформация					
Северное Прибайкалье	Нефелиновые сиениты, сынныриты . . . . .	3	5	18	10
Якутия	Нефелиновые сиениты . . . . .	1	—	21	21
Кавказ	Нефелиновые сиениты . . . . .	3	2	10	7
Среднее . . . . .		7	2	21	12
Среднее по всем формациям . . . . .		83	Не обн.	30	6

1. Не происходит концентрации редких элементов в нефелинах по сравнению с их кларковыми содержаниями. Исключение составляет галлий, концентрирующийся в нефелинах щелочно-гранитоидной формации.

2. Содержание редких элементов в нефелине является отражением их концентрации в нефелинсодержащей породе.

3. Обобщение материала по редким элементам выявили, что нефелины, например, из пород щелочно-гранитоидной формации, в отличие от щелочно-габброидной, характеризуются повышенными содержаниями Li, Rb, Ga и минимальными — Sr. Эти отличия в средних содержаниях редких элементов позволяют рассматривать их, наряду с другими признаками, индикаторами формационной принадлежности щелочных пород.

## Галлий в нефелинах

Регион	Порода	Количество анализов	Содержание, г/т		
			от	до	среднее
Щелочно-габброидная формация					
Восточная Сибирь	Нефелин-пироксеновые . . . . .	15	19	71	36
Якутия	Ййолиты . . . . .	4	18	35	29
Полярная Сибирь	Нефелин-мелилитовые . . . . .	3	8	12	10
Кольский п-ов	Нефелиновые сиениты, полевошпатовые ййолиты . . . . .	16	27	140	66
Кузнецкий Алатау	Уртиты, ййолиты . . . . .	9	8	50	31
Африка	Нефелиниты . . . . .	3	18	40	33
Северная Америка	Ййолиты . . . . .	3	30	110	66
Финляндия	Ййолиты . . . . .	2	36	49	42
Гренландия	Уртиты . . . . .	1	—	60	60
Среднее . . .		56	8	140	41
Щелочно-гранитоидная формация					
Южный Урал	Миаскиты . . . . .	2	70	70	70
Украина	Мариполиты . . . . .	7	68	100	91
Тува	Нефелиновые сиениты . . . . .	3	32	48	38
Норвегия	Нефелиновые сиениты . . . . .	2	20	22	21
Канада	Канадиты . . . . .	1	—	24	24
Среднее . . .		15	20	100	49
Калиевая щелочно-базальтоидная субформация					
Северное Прибайкалье	Нефелин-пироксеновые сиениты . . . . .	2	40	50	45
Кавказ	Нефелиновые сиениты . . . . .	2	20	31	25
Средняя Азия	Нефелиновые сиениты . . . . .	2	33	34	34
Среднее . . .		6	20	50	35
Среднее по всем формациям . . .		77	8	140	42

Таблица 75

## Барий в нефелинах

Регион	Порода	Количество анализов	Содержание, г/т		
			от	до	среднее
Кольский п-ов	Нефелиновые сиениты . . . . .	8	110	2300	680
Восточная Сибирь	Уртиты, ййолиты, ййолит-порфиры . . . . .	7	50	500	160
Северная Америка	Ййолиты . . . . .	5	100	3000	1220
Среднее . . .		20	50	3000	686

Таблица 76

## Цезий в нефелинах

Регион	Порода	Количество анализов	Содержание, г/т		
			от	до	среднее
Кольский п-ов	Нефелин-пироксеновые . . . . .	44	Не обн.	2	1
	Нефелиновые сиениты . . . . .	4	4	6	5
Восточная Сибирь	Нефелиновые сиениты . . . . .	2	Не обн.	31	15
Южный Урал Зарубежные месторождения	Нефелиновые сиениты . . . . .	3	30	200	80
	Нефелиниты, ийолиты . . . . .	2	<50	<50	<50
	Нефелиновые сиениты . . . . .	2	Не обнаружено		
Среднее . . . . .		57	Не обн.	200	25

Таблица 77

## Цирконий в нефелинах

Регион	Порода	Количество анализов	Содержание, г/т		
			от	до	среднее
Кольский п-ов	Нефелин-пироксеновые . . . . .	4	5	30	12
	Ийолиты . . . . .	3	50	80	70
Восточная Сибирь	Тингуаиты . . . . .	3	5	50	31
Дальний Восток	Ийолиты . . . . .	1	—	20	20
Северная Америка					
Среднее . . . . .		11	5	80	33

Таблица 78

## Отдельные редкие элементы в нефелинах

Элемент	Количество анализов	Содержание, г/т			Элемент	Количество анализов	Содержание, г/т		
		от	до	среднее			от	до	среднее
Нефелиновые сиениты					Ийолит-уртиты				
Ti	6	20	500	231	Ti	9	20	600	175
Mn	6	2	60	21	Mn	9	8	100	42
V	1	100	—	—	V	4	10	300	202
Cr	1	7	—	—	Ni	2	4	20	12
Mo	1	1	—	—	Cr	4	4	20	8
Zn	1	40	—	—	Mo	1	4	—	—
Pb	2	5	20	12	Zn	1	500	—	—
Cu	4	5	10	6	Pb	1	20	—	—
B	—	—	—	—	Cu	7	1	5	2
Sc	1	Не обн.†	—	—	B	4	Не обн.	30	10
Nb	2	50	50	50	Sc	1	10	—	—
					Nb	1	20	—	—

## ОЛИВИН

Оливины относятся к наиболее распространенным породообразующим минералам магматических ультраосновных и основных пород. Реже и в небольших количествах они встречаются в кислых и щелочных изверженных породах.

Оливины характерны для некоторых типов метаморфических пород (термально-метаморфизованных загрязненных кремнеземом доломитов, метаморфизованных железистых осадков и др.), а также для контактово-метасоматических образований — скарнов и кальцифиров и некоторых типов гидротермально-метасоматических пород (апатит-форстерит-магнетитовых пород в щелочно-ультраосновных комплексах и др.).

Минералы группы оливина кристаллизуются в ромбической сингонии. Структура кристаллической решетки оливинов определяется существованием разобщенных кремнекислородных тетраэдров, соединенных друг с другом посредством двухвалентных катионов ( $Mg^{2+}$  и  $Fe^{2+}$ ), находящихся в шестерной координации (Bragg, Brown, 1926). Атомы кислорода располагаются слоями, параллельными плоскости (100), и сочетаются по принципу, близкому к плотнейшей гексагональной упаковке.

Собственно оливины, являющиеся промежуточными членами непрерывной серии твердых растворов  $Mg_2SiO_4-Fe_2SiO_4$ , как известно, классифицируются по молекулярному содержанию крайних членов указанной серии на: форстерит 100—90 Fo, оливин (хризолит) 90—70 Fo, гиалосидерит 70—50 Fo, гортонолит 50—30 Fo, феррогортонолит 30—10 Fo, фаялит 10—0 Fo.

Состав оливинов зависит от условий их образования и в породах определенного генетического типа обычно довольно постоянен. Средние содержания форстеритовой молекулы в оливинах из различных типов изверженных горных пород, по данным М. М. Ильвицкого и Р. В. Колбанцева, дополненным результатами наших исследований, приведены ниже (Fo, %):

Включения в кимберлитах . . . . .	92
Кимберлиты . . . . .	91,2
Дуниты гарцбургитовой формации . . . . .	91,5
Включения в базальтах . . . . .	90,4
Дуниты габбро-пироксенит-дунитовой формации . . . . .	90,0
Оливиниты щелочно-ультраосновной формации . . . . .	89,8
Дуниты расслоенных габбро-перидотитовых плутонов . . . . .	89,1
Базальты (фенокристаллы) . . . . .	86,2
Пироксениты габбро-пироксенит-дунитовой формации . . . . .	81,0
Щелочные базальты (фенокристаллы) . . . . .	79,2
Оливиниты габбро-пироксенит-дунитовой формации . . . . .	79,0
Рудные оливиниты из анортозитовых массивов . . . . .	58,0
Габброиды из расслоенных плутонов . . . . .	57,8
Траппы . . . . .	56,4
Рудные перидотиты из щелочно-габброидных массивов . . . . .	29,5
Кварцевое ферро-габбро . . . . .	11,5
Граиты . . . . .	4,4

Оливины из термально-метаморфизованных доломитов, загрязненных кремнеземом, имеют форстеритовый состав. При региональном метаморфизме железистых осадков образуются фаялиты. Оливины из магнезиальных скарнов представлены почти чистым форстеритом. В скарнах Ивдельского района Урала описан ферро-гортонолит (Овчинников, 1949). Оливины форстеритового состава широко распространены в некоторых гидротермально-метасоматических породах, например, в апатит-форстерит-магнетитовых (камафоритах) из щелочно-ультраосновных комплексов, а также в карбонатах.

В оливинах лунных пород содержание магнезиальной составляющей (Fo) колеблется от 85 до 41% (Kushiro et al., 1970; Arrenius

et al., 1970); преобладают разности, содержащие около 70% форстеритовой молекулы.

Оливины обычно содержат в небольших количествах (0,000 п — 0,п%) Ni, Co, Mn, Sc, V, Ti, Cr и другие элементы. На концентрацию элементов-примесей в оливине влияют условия генезиса и формационная принадлежность пород, в которых встречается этот минерал. В табл. 79 по материалам авторов настоящей книги, а также опубликованным данным других исследователей приведены содержания Ni, Co, Mn, Sc, V, Ti, Cr в оливинах из различных генетических и формационных типов пород. Ниже рассмотрены также содержания в оливинах Cu, Ga, Zn, Sr и ряда других элементов, для которых имеется более ограниченное количество данных.

Никель — одна из наиболее характерных примесей оливина. В природных оливинах установлено до 0,46% Ni. Но, как было экспериментально доказано в 1949 г. Н. Л. Диалакторским и подтверждено затем Рингвудом (Ringwood, 1956),  $Ni_2SiO_4$  и  $Mg_2SiO_4$  образуют непрерывные твердые растворы. Д. П. Григорьев (1937) синтезировал никелевый оливин. Характерно, что в ультрабазитах и базитах содержание никеля, как правило, выше в более магниезиальных оливинах. В эндогенных образованиях никеля всегда больше в оливине, чем в находящемся с ним в парагенезисе пироксене. Эта особенность распределения никеля хорошо видна на примере пироксенитов, перидотитов и оливинитов Урала (Борисенко, 1966; Малахов, 1966).

В табл. 80 показано, как складываются соотношения концентраций никеля и других элементов-примесей в оливине и диопсиде из оливинитов Гусевогорского массива. Содержания никеля (также кобальта и марганца) примерно в три раза больше в оливине, чем в диопсиде. Такая же тенденция наблюдается в оливине и пироксенах, из ксенолитов ультраосновных пород в базальтах (табл. 81) (Wilshire, Binns, 1961).

В оливине из различных типов пород содержание никеля изменяется в широких пределах — от 0,000п до 0,п%. Однако в определенной геологической обстановке оно остается сравнительно постоянным, обнаруживая четкую зависимость от генетических условий. Поэтому есть основания считать, что содержание никеля в оливинах может стать надежным индикатором геологических и физико-химических условий минералообразования.

Наиболее высокие содержания никеля характерны для магниезиальных оливинов из ультраосновных пород (см. табл. 79). Однако в оливинах из различных генетических типов ультрабазитов устанавливаются некоторые закономерные изменения в содержании Ni. Наиболее высокие средние содержания свойственны оливинам из ультраосновных включений в кимберлитах (0,317% Ni), базальтах (0,3%), щелочных и нефелиновых базальтах (0,255%). Близкие к этим содержания никеля наблюдаются в оливинах из альпинотипных гипербазитов (в среднем 0,286% Ni) и ультраосновных пород дифференцированных габбро-норитовых интрузий (0,257%). Для альпинотипных гипербазитов максимальными содержаниями никеля характеризуются оливины из перидотитов и гранатовых перидотитов, ассоциирующих с регионально-метаморфизованными породами высоких ступеней метаморфизма (в среднем 0,324% Ni).

Более низкие содержания никеля определены для оливинов из кимберлитов (в среднем 0,20% Ni), из оливинитов щелочно-ультраосновных комплексов (0,131%), а также из дунитов (0,123%) и оливинитов (0,052%) габбро-пироксенит-дунитовой формации.

В оливинах из ультраосновных дифференциатов (рудных оливинитов) в массивах анортозитовой, щелочно-габброидной и габбро-монцонит-сиенитовой формаций содержание Ni среди оливинов ультраосновных пород наиболее низкое (0,00п—0,0п%). Особенности распределе-

Генетический тип	Магматическая формация, геологические условия нахождения	Тип пород	Массив (регион)
Магматический	Гипербазитовая	Дуниты, гарцбургиты, гранатовые перидотиты	Гипербазитовые пояса Урала, юга Сибири, Малого Кавказа, Норвегии и др.
	Габбро-пироксенит-дуни- товая	Дуниты	Нижне-Тагильский, Кытлымский и др. (Урал)
		Оливиниты	Гусевогорский, Качка- нарский (Урал)
	Дифференцированных габ- бро-норитовых интрузий	Оливиниты, пери- дотиты	Монча (Кольский п-ов)
	Анортозитовая	Рудные оливини- ты и перидотиты	Цага (Кольский п-ов), Кручина (Забайкалье)
	Щелочно-габброидная	Оливиниты, пери- дотиты	Гремяха-Вырмес (Коль- ский п-ов)
	Габбро-монцит-сиенито- вая	Оливиниты	Сваранц (Армения)
	Кимберлитовая	Кимберлиты	Якутия
	Расслоенных габброидных интрузий	Габбро-пикриты	Скаергаард (Гренландия)
	То же	Габбро и ферро- габбро	То же
	Гидротер- мально-ме- тасомати- ческий и екарновый	Ультраосновные включе- ния в кимберлитах	Оливиниты, грана- товые перидотиты
Ультраосновные включе- ния в базальтах		Оливиниты, пери- дотиты	Камчатка, Бавария и дру- гие
Ультраосновные включе- ния в щелочных и не- фелиновых базальтах		Оливиниты, пери- дотиты	ФРГ
Щелочно-ультраосновные		Оливиниты	Ковдор, Лесная (Коль- ский п-ов); Бор-Урях, Кугда, Гули (Полярная Сибирь)
Щелочно-ультраосновная		Апатит-форстерит- магнетитовые	Ковдор (Кольский п-ов)
То же	Флогопит-оливино- вые	Ковдор (Кольский п-ов), Одихинча (Полярная Сибирь)	
Различные гранитоидные формации	Скарны и каль- цифиты	Месторождения разных районов	

## V, Cr, Ti в оливинах (%)

Ni	Co	Mn	Sc	V
0,08—0,42 0,280 (110)	0,008—0,024 0,0103 (36)	0,03—0,185 0,089 (30)	0,00026—0,00039 0,00025 (16)	0,001—0,003 0,002 (2)
0,094—0,196 0,123 (15)	0,0126—0,0157 0,0140 (8)	0,054—0,924 0,168 (11)	0,00013—0,00046 0,00029 (7)	0,0019—0,0028 0,0023 (5)
0,016—0,072 0,052 (11)	0,006—0,016 0,0126 (4)	0,17 (1) —	0,0003 (1) —	0,0003—0,0028 0,0012 (6)
0,126—0,456 0,257 (22)	0,01—0,078 0,052 (3)	0,07—0,174 0,12 (14)	0,00026—0,0009 0,0007 (5)	0,0024—0,0048 0,0033 (3)
0,006—0,012 0,009 (4)	0,01—0,014 0,01 (3)	0,326—0,55 0,448 (5)	0,0006 0,0006 (3)	Следы —0,0038 0,002 (2)
Следы (2) —	0,01 0,01 (2)	1,047—1,324 1,185 (2)	—	—
0,020 (1) —	0,028 (1) —	0,22 (1) —	0,002 (1) —	0,0016—0,0023 0,002 (3)
0,094—0,29 0,20 (11)	0,0047—0,0157 0,0113 (10)	0,046—0,131 0,097 (12)	0,00026 (1) —	—
0,2 (1) —	0,015 (1) —	0,20 (1) —	—	—
0,001—0,0325 0,0086 (4)	0,002—0,0125 0,0074 (4)	0,17—0,78 0,48 (4)	—	—
0,267—0,377 0,317 (10)	—	0,06—0,079 0,069 (6)	0,00026—0,00033 0,00028 (3)	0,0025 0,0025 (3)
0,08—0,322 0,301 (16)	0,015—0,035 0,018 (10)	0,04—0,14 0,109 (9)	—	—
0,018—0,346 0,255 (19)	0,0113—0,0189 0,015 (15)	0,008—0,146 0,111 (20)	—	Следы —0,0046 0,032 (13)
0,056—0,35 0,131 (51)	0,012—0,026 0,020 (11)	0,045—0,254 0,141 (18)	0,00026—0,00104 0,00064 (88)	0,0002—0,0045 0,0012 (12)
0,002—0,0034 0,0027 (3)	0,0074—0,8094 0,0084 (2)	0,29—0,65 0,45 (5)	0,01—0,04 0,016 (14)	0,0007—0,022 0,0016 (3)
0,05 0,05 (11)	—	0,12—0,24 0,18 (2)	0,003 (1) —	0,0021 (1) —
0,0078 0,0078 (2)	—	0,069—0,177 0,105 (3)	0,00026 (1) —	—

Генетический тип	Магматическая формация, геологические условия нахождения	Тип пород	Массив (регион)
Магматический	Гипербазитовая	Дуниты, гарцбургиты, гранатовые перидотиты	Гипербазитовые пояса Урала, юга Сибири, Малого Кавказа, Норвегии и др.
	Габбро-пироксенит-дунитовая	Дуниты	Нижне-Тагильский, Кытлымский и др. (Урал)
		Оливиниты	Гусевгорский, Качкарский (Урал)
	Дифференцированных габбро-норитовых интрузий	Оливиниты, перидотиты	Монча (Кольский п-ов)
	Анортозитовая	Рудные оливиниты и перидотиты	Цага (Кольский п-ов), Кручина (Забайкалье)
	Щелочно-габброидная	Оливиниты, перидотиты	Гремяха-Вырмес (Кольский п-ов)
	Габбро-монцит-сиенитовая	Оливиниты	Сваранц (Армения)
	Кимберлитовая	Кимберлиты	Якутия
	Расслоенных габброидных интрузий	Габбро-пикриты	Скаергаард (Гренландия)
	То же	Габбро и феррогаббро	То же
	Ультраосновные включения в кимберлитах	Оливиниты, гранатовые, перидотиты	Якутия, Африка
	Ультраосновные включения в базальтах	Оливиниты, перидотиты	Камчатка, Бавария и другие
Ультраосновные включения в щелочных и нефелиновых базальтах	Оливиниты, перидотиты	ФРГ	
Щелочно-ультраосновная	Оливиниты	Ковдор, Лесная (Кольский п-ов); Бор-Урях, Кугда, Гули (Полярная Сибирь)	
Гидротермально-метасоматический и окарновый	Щелочно-ультраосновная	Апатит-форстерит-магнетитовые	Ковдор (Кольский п-ов)
	То же	Флогопит-оливиновые	Ковдор (Кольский п-ов), Одихинча (Полярная Сибирь)
	Различные гранитоидные формации	Скарны и кальцифиры	Месторождения разных районов

Примечания. В числителе — пределы содержаний, в знаменателе — среднее содержание, в данных авторов.

Cr	Ti	Источники
$\frac{0,003-0,075}{0,021 (29)}$	$\frac{0,0008-0,048}{0,009 (11)}$	(Егорова, 1938; Малахов, 1965; Морковкина, 1962; Пинус, 1966; Соболев и др., 1970; Эфендиев и др., 1966; Kushiro et. al., 1970; Ross, Joster, Mayers, 1954)
$\frac{0,01}{0,01 (4)}$	$\frac{\text{Следы}-0,012}{- (6)}$	(Борисенко, 1966; Воробьева, Самойлова, Свешникова, 1962; Грудинин, Летников, 1969; Малахов, 1965)
$\frac{0,014-0,07}{0,054 (11)}$	$\frac{0,078 (1)}{-}$	(Борисенко, 1966; Воробьева, 1962; Грудинин и др., 1969; Малахов, 1965, 1966, +)
$\frac{0,028 (1)}{-}$	$\frac{0,006-0,042}{0,014 (8)}$	(Егорова, 1938, Елисеев и др., 1960; Козлов и др., 1967, +)
$\frac{0,001}{0,001 (2)}$	$\frac{0,027-0,414}{0,157 (5)}$	(Елисеев и др., 1960; De Vore, 1955, +)
$\frac{-}{-}$	$\frac{0,042-0,156}{0,100 (2)}$	(Елисеев и др., 1960)
$\frac{0,001 (1)}{-}$	$\frac{0,34 (1)}{-}$	(+)
$\frac{0,0048-0,027}{0,014 (11)}$	$\frac{0,006-1,16}{- (9)}$	(Бобривич и др., 1964; Воскресенская и др., 1965; Ковальский, Никитов, Егоров, 1969, +)
$\frac{0,002 (1)}{-}$	$\frac{-}{-}$	(Wager, Mitchell, 1951)
$\frac{0,002-0,002}{0,002 (3)}$	$\frac{-}{-}$	(Wager, Mitchell, 1951)
$\frac{0,003-0,017}{0,094 (6)}$	$\frac{0,0075-0,022}{0,014 (6)}$	(Уханов 1968; Mercy, O'Hara, 1967, +)
$\frac{0,01-0,041}{0,026 (13)}$	$\frac{0,001-0,018}{0,005 (10)}$	(Скрипко, Гребзды, 1969)
$\frac{0,007-0,075}{0,03 (17)}$	$\frac{0,006-0,06}{0,018 (21)}$	(Rodgers, Brothers, 1969)
$\frac{0,0015-0,15}{0,018 (51)}$	$\frac{0,01-0,23}{0,061 (12)}$	(Кухаренко, Клер, 1962; Каледонский комплекс ультраосновных щелочных пород и карбонатов Кольского п-ова и Сев. Карелии, 1965, +)
$\frac{0,003}{0,003 (19)}$	$\frac{0,0015-0,25}{0,08 (4)}$	(+)
$\frac{0,003}{0,003 (12)}$	$\frac{-}{-}$	(+)
$\frac{0,003 (1)}{-}$	$\frac{-}{-}$	(Дир, Хауи, Зусман, 1965, +)

скобках — число проб. 2. Крестиком отмечены случаи использования неопубликованные

ния этого элемента в оливинах из главнейших типов ультраосновных пород показаны на гистограмме (рис. 1).

При серпентинизации ультрабазитов происходит перераспределение никеля между вновь образованными минералами, при котором значительная часть высвобождающегося из оливина никеля входит в состав вторичного магнетита, нередко содержащего более 1% Ni,

Таблица 80

Содержание элементов-примесей  
в оливине и диопсиде из оливинитов  
Гусевгородского массива, г/т

Элемент	Минерал	
	оливин	диопсид
Ni	400	120
Co	100	30
Mn	1900	70
Sr	50	120
Sc	3	78
V	14	170
Ti	360	2160
Cr	610	1160
Ga	1	4

Таблица 81

Содержание элементов-примесей  
в минералах ксенолитов из базальтов,  
г/т

Элемент	Минерал		
	оливин	энстатит	хромовый диопсид
Ni	3200	660	330
Co	160	60	40
Mn	200	1000	1000
Sr	He обн.	He обн.	60
V	He обн.	He обн.	250
Ti	40	700	2600
Cr	200	3500	9100

иногда образуется самородное никелистое железо FeNi<sub>3</sub> (Miyashiro, Agho, 1964).

При метасоматических изменениях первичных ультраосновных пород во вновь образованных парагенезисах оливина последний содержит значительно меньшее по сравнению с первичным минералом количество никеля. Показательно в этом отношении заметное понижение содержания никеля в оливине из оливинитов в процессе их флогопитизации, характерное для щелочно-ультраосновных комплексов.

Содержание никеля в оливине из габброидов в среднем несколько ниже, чем в оливине из ультрабазитов, и обычно составляет 0,0п%—0,00п%. На концентрацию никеля в оливине основных пород заметно влияет его железистость. С повышением содержания никеля в оливине понижаются. Это отчетливо видно на примере дифференцированной интрузии Скаергаард (Wager, Mitchell, 1951), в которой содержание никеля из габбро-пикритов 0,2%, из гиперстен-оливинового габбро 0,0325%, из гортонолитового феррогаббро 0,001%, из феррогортонолитового и фаялитового феррогаббро ≤0,001%.

Имеющиеся немногочисленные данные свидетельствуют о весьма низких содержаниях Ni в оливинах из контактово-метасоматических и гидротермально-метасоматических пород, обычно не превышающих 0,00п%.

Кобальт всегда, хотя и в меньших количествах, чем никель, содержится в оливине; обычно 0,00п—0,0п%. Равенство зарядов Co<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> и близость значений r<sub>i</sub> способствуют изовалентному изоморфизму между этими элементами. Поэтому между кобальтом и никелем существует большое сходство. Н. Л. Диалакторским и Х. С. Никогосьяном получен искусственный кобальтовый оливин и доказана полная взаимная растворимость ортосиликатов Co<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> и Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>. В природных образованиях, так же как и для никеля, концентрации кобальта всегда выше в оливине, чем в пироксенах, находящихся с ним в парагенезисе (см. таблицы 80, 81).

Кобальт постоянно, но в небольших количествах, присутствует в оливинах из ультраосновных пород различных магматических формаций, а также в оливинах из ультраосновных включений в кимберлитах,

базальтах, щелочных и нефелиновых базальтах. В большинстве случаев среднее содержание кобальта в оливинах из этих пород составляет 0,01—0,02%. Несколько повышенное содержание его наблюдается в оливинах из оливинитов щелочно-ультраосновной формации (в среднем 0,02%), а также в оливинах из оливинитов и оливиновых пироксенитов дифференцированных габбро-норитовых интрузий (в среднем 0,052%) и рудных оливинитов (массив Сваранц) габбро-монцит-сиенитовой формации (0,028%). В перидотитах щелочно-габброидной формации (массив Гремяха-Вурмес) содержание кобальта в оливине, напротив, несколько понижено (менее 0,01%).

В дифференцированной габброидной интрузии Скаергаард (Wager, Mitchell, 1951) содержание кобальта в оливине закономерно понижается от ультраосновных дифференциатов к основным, параллельно с возрастанием железистости минерала. Оливин из габбро-пикритов содержит 0,015%, Со, из гиперстен-оливинового габбро — 0,0125%, из гортонолитового феррогаббро — 0,010%, из феррогортонолитового феррогаббро — 0,005%, из фаялитового феррогаббро — 0,002%.

Содержание кобальта в оливине из гидротермально-метасоматических апатит-форстерит-магнетитовых пород в щелочно-ультраосновных комплексах ниже его концентраций в оливинах из оливинитов тех же массивов и в среднем составляет 0,0084%.

Марганец накапливается в железистых разновидностях оливина (табл. 82). Поэтому в изверженных породах минимальные содержания марганца ( $\leq 0,1\%$ ) характерны для наиболее магнезиальных оливинов из ультраосновных включений в кимберлитах, из кимберлитов и альпинотипных дунитов. В оливинах из ультраосновных пород других магматических формаций содержание марганца увеличивается по мере повышения железистости оливинов.

В породах габброидного состава закономерное соотношение между железистостью оливина и содержанием в нем марганца проявляется еще определеннее. Прямая зависимость между содержанием марганца и железистостью оливина наглядно иллюстрируется графиком (рис. 2), построенным по данным (см. табл. 82), приведенным в работе Дира, Хауи и Зусмана (1965).

Содержание марганца в оливинах из пород гидротермально-метасоматического и контактово-метасоматического происхождения в целом непостоянно и, вероятно, в значительной степени зависит от его концентрации в породах, подвергающихся метасоматическим изменениям.

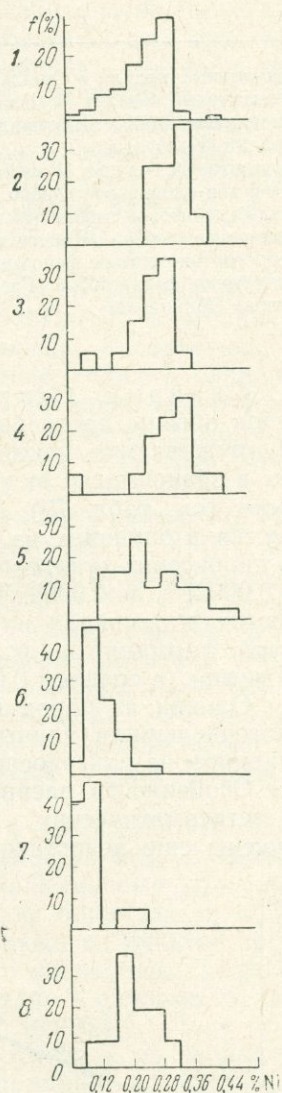


Рис. 1. Гистограммы содержания никеля в оливинах из различных типов ультраосновных пород

1 — дуниты гипербазитовой формации; 2 — ультраосновные включения в кимберлитах; 3 — ультраосновные включения в щелочных и нефелиновых базальтах; 4 — ультраосновные включения в базальтах; 5 — оливиниты и перидотиты из дифференцированных габбро-норитовых интрузий; 6 — оливиниты щелочно-ультраосновной формации; 7 — оливиниты и дуниты габбро-пироксенит-дунитовой формации; 8 — кимберлиты

## Марганец и титан в оливинах различной железистости

Порода (регион)	Содержание, г/т		% Fa
	Mn	Ti	
Оливиновый нодуль в базальте (Япония) . . . . .	69	90	10,6
Мелилитовый базальт (Капская провинция) . . . . .	123	50	11,5
Оливиновое габбро (Шотландия) . . . . .	167	18	14,0
Базальт (Колорадо) . . . . .	131	36	22,8
Мелилитовый базальт (Капская провинция) . . . . .	208	54	24,1
Гиперстен-оливиновое габбро (Гренландия) . . . . .	169	58	36,7
Гиалосидеритовое габбро (Нью-Гемпшир) . . . . .	400	—	40,3
Оливиновое габбро (Шотландия) . . . . .	524	—	52,7
Феррогортнолитовое феррогаббро (Гренландия) . . . . .	654	6	79,5
Фаялитовое феррогаббро (Гренландия) . . . . .	777	120	97,2
Диабаз (Миннесота) . . . . .	—	720	—

Скандий. Содержание скандия в оливинах из ультраосновных пород обычно не превышает десятитысячных долей процента, при этом обнаруживаются некоторые различия в содержании скандия в оливинах в зависимости от условий их генезиса и формационной принадлежности (см. табл. 79). Наиболее низкие концентрации скандия наблюдаются в оливинах из дунитов и пироксенитов гипербазитовой и габбро-пироксенит-дунитовой формации (в среднем соответственно  $\sim 0,00025\%$  и  $0,00029\%$ ). Несколько более высокие содержания отмечаются в оливинах из оливинитов щелочно-ультраосновной, анортзитовой формаций и формации дифференцированных габбро-норитовых интрузий (в среднем  $0,0006-0,0007\%$ ).

Оливин из пород габброидного состава, судя по имеющимся немногочисленным данным, несколько богаче скандием по сравнению с оливином из ультраосновных пород ( $0,00098-0,00156\%$ ).

Особенности распределения скандия в оливинах из гидротермально-метасоматических и контактово-метасоматических образований изучены еще недостаточно. Однако данные показывают, что в некото-

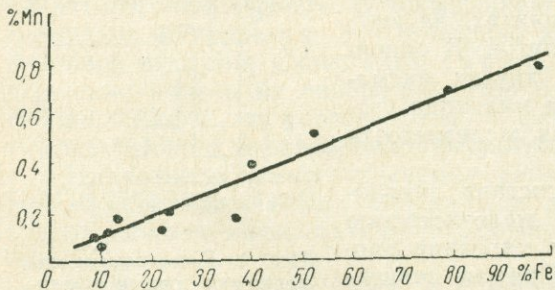


Рис. 2. График зависимости между содержанием марганца и железистостью оливинов

рых случаях оливины гидротермально-метасоматического происхождения содержат существенно повышенные количества скандия. В оливинах из метасоматически измененных ультраосновных пород содержание скандия может значительно превосходить его концентрацию в первичном минерале. Например, в оливине из флогопитизированного и перекристаллизованного оливинита в щелочно-ультраосновных массивах содержание его в первичном минерале, равном  $0,00064\%$ . Еще более высокие концентрации скандия установлены в оливинах из гидротермально-метасоматических апатит-форстерит-магнетитовых пород в щелочно-ультраосновных комплексах (в среднем  $0,016\%$ , а в отдельных образцах до  $0,04\%$ ).

Большинство минералов-концентраторов скандия в природных образованиях находится в тесном парагенезисе с минералами фтора (Борисенко, 1961, 1970).

Ванадий, также как и скандий, не накапливается в оливинах (см. табл. 79). Уровень концентрации ванадия в оливинах из пород различных магматических формаций, как правило, колеблется в незначительных пределах, обычно 0,001—0,004%. Средние содержания ванадия в оливинах гипербазитовой, габбро-пироксенит-дунитовой, дифференцированных габбро-норитовых интрузий, габбро-монзонит-сиенитовой формаций составляют 0,002—0,003%. Наиболее низкие средние содержания этого элемента установлены в оливинах ультрабазитов и гидротермально-метасоматических образований щелочно-ультраосновной формации (0,0012% и 0,0016% соответственно). Характерно, что ультраосновные породы этой формации и приуроченные к ним титаномагнетитовые руды имеют пониженную ванадиеносность по сравнению с ультрабазитами других формаций. Однако в целом ванадий не обнаруживает четких различий средних содержаний в оливине из ультрабазитов различной формационной принадлежности.

Хром концентрируется в оливинах различного состава, как правило, в незначительных количествах (0,00п%—0,0п%). В ассоциирующихся оливинах и пироксенах хрома всегда больше в последних, особенно в клинопироксенах. Например, содержание хрома в оливине из ксенолитов в 45 раз меньше по сравнению с находящимся в том же образце хромовом диопсиде (см. табл. 79). В дунитах значительная часть хрома концентрируется в хромшпинелидах, тогда как оливины содержат  $\leq 0,01$ —0,02% Cr.

Заметим, что весьма высокие концентрации хрома (0,144%) установлены в оливинах лунных пород (Haggerty et al., 1970). Предполагается, что, в отличие от пород Земли, хром в оливине лунных пород содержится в виде Cr<sup>2+</sup>.

В оливинах из габброидов концентрации хрома обычно составляют 0,00п%. Например, в оливине Скаергаардской интрузии установлено 0,002% Cr (Wager, Mitchell, 1951). Характерно, что габброиды в среднем содержат примерно в 10 раз меньше хрома, чем ультрабазиты (Turekian, Wedepol, 1961). Для форстерита из контактово-метасоматических и гидротермально-метасоматических пород содержания хрома не превышают 0,003%.

Титан обычно присутствует в оливинах в количестве тысячных и сотых долей процента. В некоторых разновидностях его содержание повышается до одного процента и более. Минимальные содержания титана (в среднем ниже 0,01%) характерны для оливинов из дунитов и гарцбургитов гипербазитовой формации, а также из дунитов габбро-пироксенит-дунитовой формации и существенно оливиновых включений в базальтах. Несколько больше содержится титана в оливине из оливинитов габбро-пироксенит-дунитовой формации (0,036%). Еще более высокие концентрации титана установлены в оливинах из перидотитов и гранатовых перидотитов гипербазитовой формаций, ассоциирующихся с регионально метаморфизованными породами высоких ступеней метаморфизма (в среднем 0,047%). В ультрабазитах рассмотренных формаций титана всегда на порядок меньше в оливине (0,0п%), чем в ассоциирующем с ним клинопироксене (см. табл. 81).

Относительно низкие содержания титана (в среднем от 0,01 до 0,02%) наблюдаются также в оливинах из ультраосновных пород дифференцированных габбро-норитовых интрузий, ультраосновных включений в кимберлитах, щелочных и нефелиновых базальтах. Более высокие содержания его отмечаются в оливинах из ультрабазитов щелочно-ультраосновной, щелочно-габброидной, анортзитовой и габбро-монзонит-сиенитовой формаций, характеризующихся повышенной титаносностью ультраосновных пород. В кимберлитах, которым также свойствен высокий уровень содержаний титана, в отдельных случаях устанавливается присутствие титановой разновидности оливина с содержа-

нием титана более 1% (Воскресенская и др., 1965). Предполагается, что в этом случае титан изоморфно замещает кремний.

Содержание Ti в оливинах из пород основного состава изменяется в широких пределах (см. табл. 82). Однако в отличие от содержания марганца, находящегося в прямой зависимости от железистости минерала, а также от содержания никеля и кобальта, для которых явно намечается обратная связь с содержанием железа, концентрации титана в оливинах не имеют столь же закономерной связи с их железистостью.

Приведенные выше данные не исчерпывают всего разнообразия элементов-примесей в оливинах, но по многим другим элементам сведений недостаточно. Наиболее существенно дополняют эти данные исследования состава оливинов дифференцированной интрузии Скаергаард, выполненные Уэйджером и Митчеллом (Wager, Mitchell, 1951). Данные, приведенные в табл. 83, хорошо иллюстрируют особенности

Таблица 83

Содержание элементов-примесей в оливинах из габброидных пород интрузии Скаергаард, г/г

Порода	Ni	Cr	Co	Mn	Cu	Ga	Sr	Ba	Li	Mo
Габбро-пикрит . . . . .	2000	20	150	2000	20	3	10	5	2	3
Гиперстен-оливиновое габбро . . . . .	325	20	1250	1700	20	3	10	7	3	10
Гортонолитовое феррогаббро . . . . .	10	20	100	3200	300	5	100	10	5	10
Феррогортонолитовое феррогаббро . . . . .	10	—	50	6600	400	5	100	10	5	10
Фаялитовое феррогаббро . . . . .	10	20	20	7800	20	5	20	10	15	30

распределения элементов-примесей в оливинах в процессе глубоко прошедшей дифференциации родоначальной толеитово-базальтовой магмы. Последовательная смена дифференциатов от габбро-пикритов и гиперстен-оливинового габбро до кварцсодержащего фаялитового феррогаббро сопровождается изменением состава оливина от гялосидерита  $Fe_{34}$  до фаялита  $Fe_{97,2}$ . Содержание одних элементов (Ni, Co) в оливине понижается, а других (Mn, Li, Mo, Ba, Ga) возрастает по мере увеличения железистости минерала.

Кроме того, содержание меди определено нами в оливинах из оливинитов щелочно-ультраосновных комплексов. Оно изменяется от 0,0005 до 0,0021% и в среднем (8 определений) составляет 0,0012%. В оливинах из рудных оливинитов габбро-монзонит-сиенитовой формации содержится 0,0029% Cu. Оливины из рудных пегматитов в анортозитах содержат 0,009% Cu (De Vore, 1955); в оливинах из существенно оливиновых включений в щелочных и нефелиновых базальтах (Schutz, 1967) установлено в среднем (13 определений) 0,0055% Cu, а в оливинах из перидотитовых включений в базальтах (Скрипко, Гребзды, 1969) — 0,004% Cu.

Галлий. Содержание галлия в оливинах из ультраосновных пород изменяется от 0,0002 до 0,0048%. Минимальные количества галлия отмечаются в оливинах из оливинитов щелочно-ультраосновной формации и дунитов гарцбургитовой формации ( $<0,0002\%$ ); в оливинах из оливиновых пироксенитов габбро-пироксенит-дунитовой формации содержание галлия изменяется от 0,0001 до 0,0006% и в среднем составляет 0,0004%. Оливин из оливинитов габбро-монзонит-сиенитовой формации содержит 0,0006% Ga. Больше всего галлия содержится в оливинах из пироксен-оливин-магнетитовых пегматитов в анортози-

тах — от 0,0024 до 0,0071%, а в среднем — 0,0048% (De Voge, 1955).

Цинк. На основании единичных определений можно судить о возможности присутствия в оливинах повышенных количеств цинка. Так, оливин из пегматитов в анортозитах содержит 0,096% Zn (De Voge, 1955), а в оливине из перидотитовых включений в базальтах обнаружено 0,01% Zn (Скрипко, Гребзды, 1969). В оливинах из тех же пород определено от следов до 0,005% Zn.

Стронций установлен в оливине из габброидов Скаергаардской интрузии, а также обнаружен в оливине из пегматитов в анортозитах — 0,0019—0,0032% (De Voge, 1955). Содержание Sr 0,005% установлено в оливине из оливинитов габбро-пироксенит-дунитовой формации. Характерно, что ассоциирующий с ним пироксен содержит стронция примерно в два раза больше (см. табл. 83).

Очень низкие концентрации стронция наблюдаются в оливине из альпинотипных перидотитов —  $38 \cdot 10^{-6}$ — $18,2 \cdot 10^{-6}$  и ультраосновных включений в базальтах —  $11,5 \cdot 10^{-5}$  (Stueber, 1969).

Таким образом, анализ содержаний элементов-примесей в оливинах из изверженных пород различных магматических формаций, а также из различных типов гидротермально-метасоматических образований приводит к следующему:

1. В оливинах в основном концентрируются элементы, способные изовалентно замещать  $Mg^{2+}$  и  $Fe^{2+}$ . В первую очередь это характерно для никеля, марганца и несколько меньше для кобальта. Элементы-примеси, требующие при замещении компенсации заряда ( $Sc^{3+}$ ,  $V^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Ga^{3+}$ ), как правило, не накапливаются в оливинах, но дают повышенные концентрации в ассоциирующих с ними пироксенах, особенно в клинопироксенах.

2. Для содержаний некоторых элементов-примесей, в основном Ni, Co, Mn и Ti, в оливинах изверженных пород устанавливается зависимость от состава минералов (железистости), условий генезиса и формационной принадлежности. Именно у Ni, Co, Mn и Ti наиболее хорошо проявлены индикаторные свойства. У Sc, V и Cr эти свойства выражены менее четко. Для наиболее магнезиальных оливинов ультрабазитов, являющихся производными ультрабазитовых магм, характерны максимальные содержания Ni и Co и минимальные Mn, Ti, Sc. Обратная картина распределения этих элементов наблюдается в более железистых оливинах ультраосновных дифференциатов габброидных магм.

3. Содержание элементов-примесей в оливинах гидротермально- и контактово-метасоматических образований, как правило, отличаются непостоянством и в основном зависят от их концентраций в породах, подвергшихся метасоматическим изменениям. Особенно характерным элементом в этом отношении является скандий. Высокие концентрации его в оливине из апатит-форстерит-магнетитовых пород щелочно-ультраосновной формации, так же как и в некоторых других минералах из этих пород (бадделейт), могут представлять не только научный, но и практический интерес.

## ПИРОКСЕНЫ, АМФИБОЛЫ И ЖЕЛЕЗИСТО-МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СЛЮДЫ

В настоящем разделе обобщен литературный материал по распределению редких элементов в породообразующих темноцветных минералах, а также довольно многочисленные, в основном неопубликованные, аналитические данные, принадлежащие авторам данной книги или любезно предоставленные сотрудниками Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, и даны более или менее достоверные средние цифры содержаний.

Содержания Li, Rb, Be, суммы редкоземельных элементов и Y, Zr, Sr, Ba, Sc, V, Ti, Mn, Zp и Pb в породообразующих темноцветных из пород различных генетических типов

Порода	Регион	Количество анализов	Пироксены, г/т			Количество анализов	Амфиболы, г/т			Количество анализов	Слюды, г/т			Средние содержания в данном типе пород	Используемые материалы
			от	до	среднее		от	до	среднее		от	до	среднее		
Литий															
Основные	СССР (Дальний Восток), США (Калифорния), Гренландия	37	Следы	50	15	8	Следы	30	5	1	—	—	80	15	Борисенко, 1959; Сердобова, 1965; Дир, Хауп, Зусман, 1966; Borisenko, 1967; Sen, Nockolds, 1959; Wager, Mitchell, 1951
Щелочные	СССР (Якутия, Таймыр, Тува, Кольский п-ов, Прибайкалье, Урал, Средняя Азия, Казахстан)	30 12	30 10	360 120	180 70	50 18	500 320	8000 12000	1340 3160	32	500	14 000	1110	40	Виленский, 1966; Геохимия Ловозерского щелочного массива, 1966; Егоров, Гамалея, Минц.; 1966; Еськова, 1964; Семенов, 1969
Гранитоиды	СССР (Восточная Сибирь, Тува, Забайкалье, Казахстан, Урал, Центральная Европа), США (Калифорния)	1	—	—	38	15	5	49	15	38	100	10 300	1100	40	Воронцов, Лин, 1966; Недашковский, Погорелова, 1962; Петрова, Легейдо, 1965; Тихомирова, 1969; Nockolds, Mitchell, 1948; Sen, Nockolds, 1959
Метаморфические	Индия	3	4	40	23	—	—	—	—	—	—	—	—	60	Дир, Хауп, Зусман, 1966; Howie, 1943—1955
Скарны	Канада	1	—	—	120	3	100	150	130	—	—	—	—	—	Дир, Хауп, Зусман, 1966; Нечелостов, Попова, Минцер, 1961; Токваш, 1965
Рубидий															
Основные	СССР (Урал, Дальний Восток), США (Калифорния)	2	20	400	215	4	20	270	90	1	—	—	1100	45	Борисенко, 1959; Борисенко, Сердобова, 1965; Недашковский, Погорелова, 1962; Соболев, 1962; Borisenko, 1967; Sen, Nockolds, 1959
Щелочные	СССР (Якутия, Таймыр, Дальний Восток, Кольский п-ов, Прибайкалье, Урал, Казахстан, Средняя Азия, Украина, Белоруссия)	28 3	Следы Следы	650 25	81 10	36 5	Следы 800	300 1200	101 508	13	10	2500	1200	190	Власов, Кузьменко, Еськова, 1959; Геохимия Ловозерского щелочного массива, 1966
Гранитоиды	СССР (Восточная Сибирь, Забайкалье), Центральная Европа	6	5	30	15	7	3	420	18	16	300	3900	1250	200	Воронцов, Лин, 1966; Недашковский, Погорелова, 1962; Петрова, Легейдо, 1965; Тихомирова, 1969; O'Hara, 1960; Sen, Nockolds, 1959
Скарны	Канада	—	—	—	—	1	—	—	70	—	—	—	—	—	Нечелостов, Попова, Минцер, 1961
Бериллий															
Основные	СССР (Кольский п-ов, Дальний Восток), США (Мичиган)	6	Следы	10	3	7	1	5	2,2	—	—	—	—	0,4	Виленский, 1966, Недашковский, Погорелова, 1962; Соболев, 1962; Cornwall, Rose, 1957
Щелочные	СССР (Якутия, Дальний Восток, Тува, Прибайкалье, Кольский п-ов, Урал, Средняя Азия), Канада, Норвегия	40 12	Следы 4	38 46	11 21	51 14	Следы Следы	70 146	24 88	21	Следы	25	8	4,5	Власов, Кузьменко, Еськова, 1959; Герасимовский и др., 1966

Порода	Регион	Количество анализов	Пироксены, г/т			Количество анализов	Амфиболы, г/т			Количество анализов	Слюды, г/т			Среднее содержание в данном типе пород	Используемые материалы
			от	до	среднее		от	до	среднее		от	до	среднее		
Гранитоиды	СССР (Забайкалье, Алтай, Тува), Монголия	1	—	—	3,2	16	1	14	7,8	28	7	36	8	5,5	Беус, 1956, 1959; Волочкович, Леонтьев, 1962; Гинзбург, 1957; Недашковский, Погорелова, 1962; Нечелюстов, Попова, Минцер, 1961; Петрова, Лейго, 1965; Пополитов, 1966
Метаморфические	Канада	—	—	—	—	4	2	8	4	1	—	—	3	3	Токваш, 1965 г.
Скарны	СССР (Средняя Азия), Канада	40	Следы	19	19	10	Следы	14	3	—	—	—	—	—	Нечелюстов, Попова, Минцер, 1961; Kretz, 1960; Токваш, 1965
Сумма редкоземельных элементов и иттрий															
Основные	СССР (Грузия, Урал), Гренландия, Англия, США (Мичиган)	25	10	500	140	3	10	100	70	12	4	180	30	117	Балашов, Кекелин, 1965; Борисенко, 1955, 1965; Виленский, 1966; Дир, Хауп, Зусман, 1966; Borisenko, 1967; Cornwall, Rose, 1957, Sen, Nockolds and Allen, 1959; Wager, Mitchell, 1951
Щелочные	СССР (Восточный Саян, Якутия, Урал, Тува, Прибайкалье, Таймыр)	$\frac{10}{3}$	$\frac{20}{—}$	$\frac{500}{—}$	$\frac{300}{800}$	$\frac{12}{5}$	$\frac{10}{80}$	$\frac{500}{900}$	$\frac{200}{800}$	4	30	500	200	370	Андреева, 1965; Егоров, Гамалея, Минц, 1966; Свешникова, 1962; Семенов, 1969
Гранитоиды	СССР (Якутия), США (Калифорния)	—	—	—	—	5	60	900	500	9	30	50	40	295	Sen, Nockolds and Allen, 1959
Метаморфические	США, ФРГ, Индия, Канада	17	Следы	150	40	42	Следы	190	50	20	30	105	50	120	Дир, Хауп, Зусман, 1966; Маракушев, Тарафин, Залишак, 1966; Kretz, 1959; Токваш, 1965; De Vore, 1955
Скарны	Канада, Англия	9	Следы	30	9	3	6	150	33	—	—	—	—	—	Дир, Хауп, Зусман, 1966; Kretz, 1959; Токваш, 1965 г.
Цирконий															
Основные	СССР (Урал, Кольский п-ов), США (Калифорния, Мичиган), Гренландия, Англия	52	5	800	130	11	10	140	47	1	—	—	35	100	Борисенко, 1961, Виленский, 1966; Дир, Хауп, Зусман, 1966; Латыш, 1965; Borisenko, 1967; Cornwall, Rose, 1957; Snyder, 1959; Wager, Mitchell, 1951
Щелочные	СССР (Средняя Азия, Прибайкалье, Якутия, Кольский п-ов, Урал, Таймыр, Казахстан, Дальний Восток), Гренландия, Нигерия	$\frac{33}{10}$	$\frac{700}{400}$	$\frac{21\ 100}{5700}$	$\frac{2870}{1550}$	$\frac{44}{15}$	$\frac{40}{800}$	$\frac{4500}{5900}$	$\frac{800}{1490}$	17	40	500	60	— 384	Егоров, Гамалея, Минц, 1966; Геохимия Левозерского щелочного массива, 1966; Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов, 1964; Егоров, Гамалея, Минц, 1966; Еськова, 1964; Зырянов, 1968; Свешникова, 1962; Семенов, 1969; Borisenko, 1967, Borley, 1963
Гранитоиды	СССР (Карелия), Центральная Европа, США	—	—	—	—	5	20	310	120	3	30	180	120	200	Nockolds, Mitchell, 1948; Borley, 1963
Метаморфические	СССР (Карелия, Якутия), США (Мичиган), Канада	29	Следы	200	84	44	Следы	370	140	57	Следы	450	180	200	Howie, 1943—1955; Kretz, 1959, Moxham, 1965; O'Hara, 1960; De Vore, 1953

Порода	Регион	Количество анализов	Пироксены, г/т			Количество анализов	Амфиболы			Количество анализов	Слюды, г/т			Среднее содержание в данном типе пород	Используемые материалы
			от	до	среднее		от	до	среднее		от	до	среднее		
Скарны	СССР (Тува, Средняя Азия), Канада, США, Англия	41	10	500	60	9	40	200	80	—	—	—	—	—	Дир, Хауи, Зусман, 1966; Нечелюстов, Попова, Минцер, 1961; Kretz, 1960, Moxham, 1965
Стронций															
Основные	СССР (Кольский п-ов, Урал, Дальний Восток, Восточная Сибирь), Гренландия, Англия, США (Калифорния, Мичиган)	39	Следы	400	198	16	10	1000	310	1	—	—	Не обн.	440	Борисенко, 1959, 1965; Виленский, 1966; Дир, Хауи, Зусман, 1966; Д. И. Рябчиков, 1968; Соболев, 1962; Borisenko, 1967; Cornwall, Rose, 1957; Sen, Nockolds and Allen, 1959; Wager, Mitchell, 1951
Щелочные	СССР (Якутия, Таймыр, Средняя Азия, Казахстан, Урал, Кольский п-ов,) Норвегия	$\frac{22}{12}$	$\frac{30}{10}$	$\frac{300}{2500}$	$\frac{170}{1570}$	$\frac{24}{13}$	$\frac{50}{20}$	$\frac{1280}{1450}$	$\frac{960}{723}$	15	20	720	600	1130	Власов, Кузьменко, Еськова, 1959; Геохимия Ловозерского щелочного массива, 1966; Егоров, Гамалея, Миц, 1966
Гранитоиды	СССР (Средняя Азия), США (Калифорния)	—	—	—	—	13	Следы	890	197	2	80	250	160	300	Дир, Хауи, Зусман, 1966; Howie, 1943—1955; Nockolds, Mitchell, 1948, Sen, Nockolds and Allen, 1959
Метаморфические	Канада, США, Индия	5	10	150	60	28	15	230	45	34	20	230	45	450	Дир, 1966; Howie, 1943—1955; Moxham, 1965; De Vore, 1953
Скарны	СССР (Средняя Азия), Канада	42	15	530	107	8	50	690	195	—	—	—	—	—	Данные авторов, Moxham 1965

Барий															
Основные	СССР (Восточная Сибирь), США (Калифорния, Мичиган), Гренландия, Англия	20	Следы	400	94	5	15	45	27	1	—	—	1600	300	Виленский, 1966, Дир, Хауи, Зусман, 1966, Соболев, 1962, Sen, Nockolds and Allen, 1959; Wager, Mitchell, 1951
Щелочные	СССР (Якутия, Кольский п-ов, Таймыр, Урал), Норвегия	7	—	—	Не обн.	$\frac{21}{3}$	$\frac{30}{25}$	$\frac{650}{70}$	$\frac{570}{220}$	18	100	5100	1100	1600	Власов, Кузьменко, Еськова, 1959; Геохимия Ловозерского щелочного массива, 1966; Егоров, Гамалея, Миц, 1966
Гранитоиды	США (Калифорния), Центральная Европа	—	—	—	—	8	10	100	51	2	500	2500	1888	830	Nockolds, Mitchell, 1948; Sen, Nockolds and Allen, 1959
Метаморфические	Индия, Канада, США	7	5	22	10	32	10	485	150	38	100	4000	1600	800	Дир, Хауи, Зусман, 1966; Howie, 1943—1955; Kretz, 1959; Moxham, 1965
Скарны	Канада	38	1	44	13	15	10	400	140	—	—	—	—	—	Дир, Хауи, Зусман, 1966; Kretz, 1959; Moxham, 1965

Скандий															
Основные	СССР (Восточная Сибирь, Кольский п-ов, Урал), США (Калифорния, Мичиган), Гренландия, Англия	58	10	3000	121	15	300	800	80	1	—	—	15	24	Дир, Хауи, Зусман, 1966; Кухаренко, 1965; Nockolds, Mitchell, 1948; Sen, Nockolds and Allen, 1959; Wager, Mitchell, 1951
Щелочные	СССР (Средняя Азия, Якутия, Прибайкалье, Таймыр, Казахстан, Урал, Дальний Восток, Кольский п-ов), Норвегия, Гренландия	$\frac{37}{15}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{57}{60}$	$\frac{11}{18}$	$\frac{63}{20}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{57}{42}$	$\frac{23}{26}$	38	—	72	22	—	Данные авторов

Порода	Регион	Количество анализов	Пироксены, г/т			Количество анализов	Амфиболы, г/т			Количество анализов	Слюды, г/т			Среднее содержание в данном типе пород	Используемые материалы
			от	до	среднее		от	до	среднее		от	до	среднее		
Гранитоиды	СССР (Урал, Кавказ, Средняя Азия), США	1	—	—	40	7	100	200	132	8	5	35	14	3	Борисенко, 1959
Метаморфические	СССР (Карелия), Канада, США, Индия, Центральная Европа	24	10	450	86	44	Следы	300	77	36	Следы	55	32	10	Дир, Хауи, Зусман, 1966; Howie, 1943—1955; Kretz, 1959; Moxham, 1965; De Vore, 1953
Скарны	СССР (Средняя Азия), Канада, США	49	Следы	78	15	11	5	160	33	—	—	—	—	—	Дир, Хауи, Зусман, 1966; Нечелюстов, Попова, Минцер, 1961; Kretz, 1960; Moxham, 1965
Ванадий															
Основные	СССР (Восточная Сибирь, Урал), Гренландия, США	44	300	650	250	—	—	—	—	—	—	—	—	200	Борисенко, 1959; Виленский, 1966; Carstens, 1958; Cornwall, Rose, 1957
Щелочные	СССР (Кольский п-ов, Украина)	14 21	100 500	2400 8100	700 4000	2 10	300 20	2100 71	1200 26	3	90	20	130	70	Данные авторов
Гранитоиды	СССР (Урал)	—	—	—	—	7	30	560	190	15	10	720	300	40	Борисенко, 1959
Метаморфические	Канада, США	—	—	—	—	17	70	500	2600	11	300	3500	2000	130	Moxham, 1965
Скарны	Канада	10	5	26	16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Kretz, 1960
Титан															
Основные	СССР (Урал, Кавказ, Якутия, Забайкалье, Дальний Восток, Кольский п-ов, Восточная Сибирь),	160	300	11 400	5000	46	2600	17 000	10 100	5	9000	30 000	27 000	9000	Борисенко, 1959, 1965; Виленский, 1966; Дир, Хауи, Зусман, 1966; Borisenko, 1967; Carstens, 1958; Cornwall,
Щелочные	США (Калифорния, Мичиган, Миннесота), Гренландия, Норвегия, Англия	42 22	3300 1100	10 000 12 000	6200 5500	68 38	2200 2800	30 000 13 000	7800 7000	48	2400	26 000	16 500	4200	Rose, 1957; Sen, Nockolds and Allen, 1959; Wager, Mitchell, 1951
Гранитоиды	СССР (Забайкалье, Казахстан, Урал), США (Калифорния)	1	—	—	3000	26	4200	12 000	8000	27	8900	22 000	18 100	2300	Дир, Хауи, Зусман, 1966; Знаменский, 1957, 1958; Костецкая, 1966; Петрова, 1965; Sen, Nockolds and Allen, 1959
Метаморфические	СССР (Карелия), США, Канада, Центральная Европа, Австралия	49	700	5800	1700	127	100	7500	4400	58	6000	32 000	15 600	4500	Дир, Хауи, Зусман, 1966; Лутц, 1967; Howie, 1943—1955; Kretz, 1959; Moxham, 1965; Vernon, 1962; De Vore, 1953
Скарны	СССР (Якутия, Средняя Азия, Тува), США, Канада	67	200	4600	1400	26	300	6000	1400	8	1400	14 000	8500	—	Дир, Хауи, Зусман, 1966; Нечелюстов, Попова, Минцер, 1961; Kretz, 1960; Moxham, 1965; O'Hara, 1960
Марганец															
Основные	СССР (Восточная Сибирь), США (Калифорния, Пенсильвания), Англия, Япония, ЮАР, Уганда, Индия	108	700	14 000	2500	41	1100	5700	2200	—	200	3900	1800	2000	Дир, Хауи, Зусман, 1966; Borisenko, 1967; Sen, Nockolds and Allen, 1959

Порода	Регион	Количество анализов	Пироксены, г/т			Количество анализов	Амфиболы, г/т			Количество анализов	Слюды, г/т			Средние содержания в данном типе пород	Используемые материалы
			от	до	среднее		от	до	среднее		от	до	среднее		
Щелочные	СССР (Таймыр, Чукотка, Якутия, Дальний Восток, Прибайкалье, Урал, Казахстан, Средняя Азия, Кольский п-ов, Украина), Норвегия, Гренландия	39	1500	177 000	5300	56	2600	24 900	7300	38	1600	13 000	6700	—	Власов, Кузьменко, Еськова, 1959; Геохимия Ловозерского щелочного массива, 1966; Егоров, Гамалея, Минц, 1966; Еськова, 1964; Свешникова, 1962
		20	900	5200	2100	25	2700	42 700	9800						
Гранитоиды	СССР (Кавказ, Урал, Восточная Сибирь), США (Калифорния), Канада	—	—	—	—	20	900	8000	3500	20	400	6700	2600	600	Гельман, 1963; Sen, Nockolds and Allen, 1959
Метаморфические	СССР (Карелия, Якутия), Канада, США, Центральная Европа, Индия, ФРГ	15	100	9000	1000	42	500	8200	4200	25	200	3600	1000	670	Дир, Хауи, Зусман, 1966; Лутц, 1967; Howie, 1943—1955; Kretz, 1959; De Vore, 1953
Скарны	СССР (Средняя Азия, Якутия), Канада, США	68	100	3700	2200	10	1000	5800	4100	—	—	—	—	—	Дир, Хауи, Зусман, 1966; Нечелюстов, Попова, Минцер, 1961
Цинк															
Щелочные	СССР (Средняя Азия, Кольский п-ов, Прибайкалье), Швеция, Гренландия, Нигерия	2	140	150	150	5	200	590	2700	3	1500	4200	3300	85	Данные авторов
						16	2600	9300	5700						
Гранитоиды	СССР (Казахстан, Средняя Азия, Забайкалье), США, Канада	—	—	—	—	5	100	710	500	7	300	870	640	60	То же
Свинец															
Основные		1	—	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	»
Щелочные	СССР (Кольский п-ов, Нигерия, Гренландия)	1	—	—	7	—	—	7	—	—	—	—	2	18	»
					10	100	1800	600							
Гранитоиды	СССР (Тянь-Шань, Забайкалье), США (Южная Калифорния)	—	—	—	—	3	8	11	9	5	12	30	19	20	»

\* По данным В. В. Ляховича 0,815.

Примечания. 1. Для минералов щелочных пород: в числителе даны высокотемпературные, в знаменателе — низкотемпературные.  
2. Кларки элементов в щелочных породах даны по В. И. Герасимовскому и Е. А. Осокину.

Авторы отдают себе отчет в предварительном, чисто оценочном характере большинства средних цифр, что объясняется в первую очередь несопоставимостью объемов отдельных выборок. Относительность результатов обусловливалась также тем, что определения содержания редких элементов проводились различными методами в разных лабораториях из материала различной степени чистоты. Тем не менее, некоторые из полученных данных, о которых будет сказано ниже, позволяют нам считать, что большинство оценок средних довольно близко и соответствуют истинным средним содержаниям. Кроме того, об этом свидетельствует очень низкая дисперсия значений и небольшое количество ураганных значений содержания.

При подборе этого предварительного материала мы намеренно несколько расширили круг элементов, включая в него, кроме типичных редких элементов (Zr, Nb, Ta, Sc, редкие земли, Be, Li, Rb, Cs, Sr, Ba) еще и некоторые элемент-примеси, очень характерные для породообразующих темноцветных минералов и лишь иногда являющиеся основными компонентами их химического состава (Mn, Ti), а также малые элементы (Pb, Zn, V, Cr, Ni, Co, Cu).

Из-за отсутствия в большинстве случаев точной генетической привязки мы могли провести лишь очень грубую генетическую рубрикацию. Лишь для щелочных пород — объекта наиболее хорошо знакомого авторам — удалось провести несколько более дробное деление, выделив высокотемпературные, преимущественно магматические амфиболы и пироксены и низкотемпературные эгирин и рибекиты.

Титан. Средние содержания титана в породообразующих темноцветных минералах из различных пород приведены в табл. 84 и на рис. 3. В порядке комментария к этой таблице следует остановиться внимание на некоторых, кажущихся нам довольно четкими, закономерностях: 1) изменение содержания титана в темноцветных минералах в основном происходит параллельно с изменением его кларков в породах. В то же время для метаморфических пород наблюдаются резко пониженные содержания титана в этих минералах, не соответствующие его кларку в данных породах; 2) наблюдается четкое возрастание содержания титана в ряду пироксен — амфибол — железисто-магнезиальная слюда; 3) минералами-концентраторами титана из породообразующих темноцветных являются

в основном слюды и в меньшей степени амфиболы. Содержания титана в пироксенах близки к его кларковым содержаниям в данном типе пород; 4) на примере сравнения содержаний титана высоко- и низкотемпературных темноцветных щелочных пород можно говорить о некотором обогащении этим элементом высокотемпературных темноцветных.

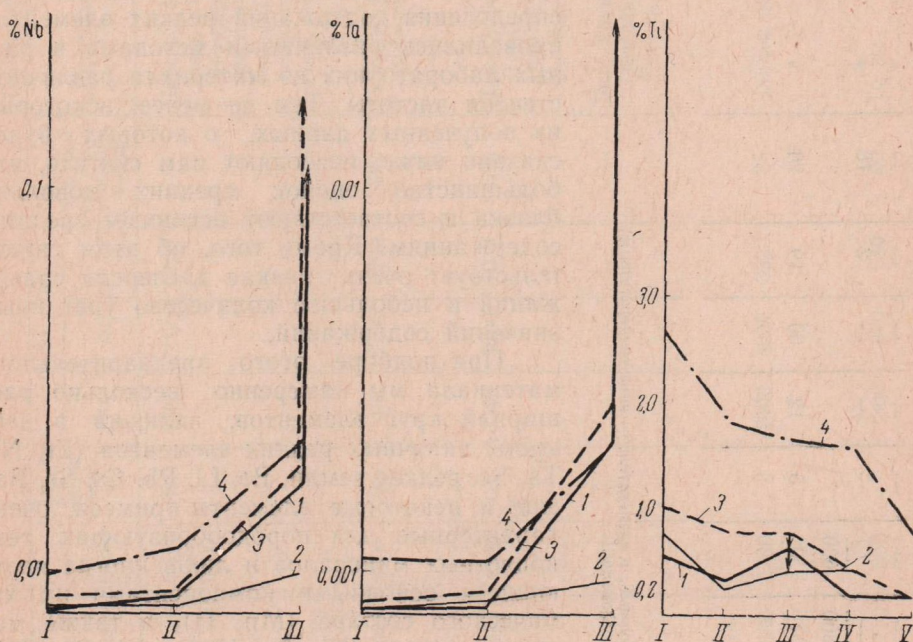


Рис. 3. Распределение титана, ниобия и тантала в пироксенах, амфиболах и слюдах из пород различных генетических типов

I — габброиды; II — гранитоиды; III — нефелиновые и щелочные сиениты; IV — метаморфические породы; V — скарны; 1 — гларки; 2 — пироксены; 3 — амфиболы; 4 — слюды

**Ниобий и тантал.** В табл. 85 приведены средние содержания ниобия и тантала для породообразующих темноцветных минералов из основных типов интрузивных пород. Для метаморфических пород мы, к сожалению, не имеем данных по этим элементам. Как и в случае с титаном, остановимся лишь на некоторых основных закономерностях распределения этих элементов в породообразующих темноцветных: 1) в таблице кларков химических элементов А. П. Виноградова (1962) содержание ниобия для основных пород и гранитоидов дается одинаковым и равным  $2 \cdot 10^{-3}\%$ . В то же время анализ содержаний этого элемента в темноцветных минералах позволяет наметить следующий ряд возрастания этих содержаний: темноцветные основных пород — темноцветные гранитоидов — темноцветные щелочных пород. Содержание тантала увеличивается в том же порядке в соответствии с кларками этого элемента; 2) наблюдается очень слабо проявленная (различия в тысячных долях весового процента) тенденция дифференцированного распределения ниобия между различными темноцветными, причем последовательность возрастания содержаний такая же, что и для титана: пироксены — амфиболы — темные слюды. Для тантала характерна та же тенденция, но она проявлена менее четко, так как различия в содержаниях находятся на пределе чувствительности метода определения этого элемента; 3) минералами — концентраторами ниобия из породообразующих темноцветных являются слюды и амфиболы; содержания ниобия в пироксенах близки к кларкам этого элемента в породах; 4) для ниобия и тантала очень сильно проявлена тенденция

## Содержания ниобия и тантала в породообразующих темноцветных минералах из пород различных генетических типов\*

Порода	Регион	Пироксены				Амфиболы				Темные слюды				Среднее содержание в данном типе породы
		количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	
Основные	СССР (Забайкалье, Восточная Сибирь)	2	1	18	3	4	10	78	30	1	—	—	78	20
			Следы	1,5	0,4		Не обн.	5	2				13	
Высокотемпературные темноцветные														
Щелочные	СССР (Средняя Азия, Прибайкалье, Урал, Якутия, Казахстан, Тува, Украина, Таймыр, Кольский п-ов)	3	10	1470	310	28	10	1400	340	27	110	850	390	100
			10	120	40		1	200	50		10	350	40	8
Низкотемпературные темноцветные														
Гранитоиды	Гренландия, Норвегия, Канада, ФРГ СССР (Забайкалье, Кавказ, Якутия, Средняя Азия, Алтай), ФРГ	12	70	5800	1040	13	50	7800	1220	—	—	—	—	—
			30	800	220		2	150	55					
		1	—	—	31	7	20	1400	40**	320	6	1130	148**	20
					1		Не обн.	10	6		7	130	12	3,5

\* В числителе ниобий, в знаменателе тантал.

\*\* По данным В. В. Ляховича:  $\frac{0,0022}{0,0003}$ ;  $\frac{0,0144}{0,0018}$

концентрирования в низкотемпературных темноцветных по сравнению с высокотемпературными (в 3—4 раза); 5) наблюдается заметная тенденция увеличения степени концентрации ниобия в низкотемпературных темноцветных по сравнению с высокотемпературными.

Отношения Nb : Ta, вычисленные на основании данных табл. 85 для разных темноцветных минералов различных типов пород, вероятно, будут очень неточны и не могут быть использованы, так как представительность материала по ниобию и танталу резко различна. Мы на основании собственного материала вычислили средние отношения Nb : Ta для 50 пироксенов, амфиболов и слюд из щелочных пород. Оказалось, что это отношение для пироксенов нефелиновых и щелочных сиенитов в среднем равно 8, для амфиболов 16, а для слюд 23. Выяснилось также, что это отношение резко изменяется в зависимости от температуры образования указанных минералов.

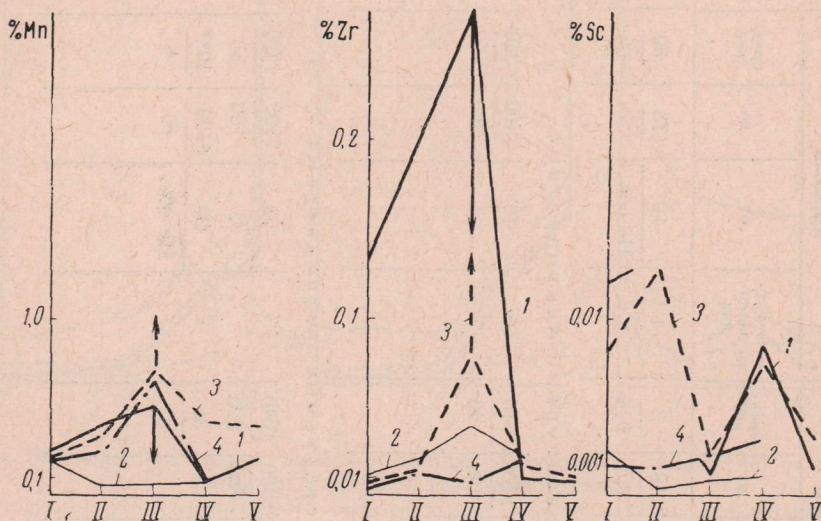


Рис. 4. Распределение марганца, циркония и скандия в пироксенах, амфиболох и слюдах из пород различных генетических типов  
См. условные обозначения к рис. 3

Приведенные выше факты о дифференцированном вхождении ниобия и тантала в решетку различных темноцветных минералов позволяют нам считать, что замещение одних темноцветных минералов другими в многостадийных процессах минералообразования существенно изменяет отношение Nb : Ta циркулирующих растворов и может оказаться важным фактором формирования месторождений.

**Марганец.** Хотя марганец, как и титан, не относится к редким элементам, характер его распределения в породообразующих темноцветных во многом напоминает характер распределения редких элементов. Собственно марганцевые породообразующие темноцветные встречаются довольно редко (йохансенит, некоторые рихтериты) и при расчете средних значений не учитывались.

Несмотря на довольно большое количество учтенных анализов (см. табл. 86), закономерности поведения марганца гораздо менее четкие, чем для большинства редких элементов. Тем не менее, можно сделать некоторые предварительные выводы:

1. Изменение содержаний марганца в темноцветных плохо коррелируется с изменением кларков этого элемента.
2. Наблюдается резкое обогащение марганцем темноцветных из щелочных пород (рис. 4).

3. Четко закономерного ряда накопления марганца среди темноцветных минералов для всех типов пород не наблюдается. Для большинства пород можно достаточно уверенно говорить лишь о преимущественной концентрации этого элемента в амфиболах по сравнению со слюдами и особенно пироксенами.

4. Марганец концентрируется во всех темноцветных минералах большинства пород.

5. В низкотемпературных темноцветных увеличивается степень дифференциации содержаний марганца между пироксенами и амфиболами.

**Цирконий.** Распределение циркония в темноцветных минералах (кроме слюд), как это следует из табл. 83, соответствует кларковым содержаниям этого элемента в породах. Содержание его возрастает от темноцветных из основных пород к темноцветным метасоматических пород и гранитоидов и к темноцветным из щелочных пород (см. рис. 4). Для интрузивных пород установлен следующий ряд темноцветных минералов по степени возрастания содержания циркония: слюды — амфиболы — пироксены. Для метаморфических пород наблюдается обратная последовательность. Этот факт представляет несомненный интерес и требует объяснения в дальнейшем. Очень интересно, что только для щелочных пород пироксены и в меньшей степени амфиболы являются концентраторами циркония, в то время как во всех прочих типах пород породообразующие темноцветные не концентрируют цирконий и содержат этот элемент в количествах, близких к кларковым содержаниям в данном типе пород или даже ниже их. Судя по данным для щелочных пород, с понижением температуры образования минералов резко падает степень дифференциации содержаний циркония между амфиболами и пироксенами.

**Скандий.** Изменение содержания скандия в породообразующих темноцветных минералах не имеет прямой зависимости от содержания этого элемента в породах (см. рис. 4). Для большинства пород характерен следующий ряд возрастания содержания скандия: слюды — амфиболы — пироксены. Однако в щелочных породах скандий преимущественно накапливается в слюдах и амфиболах. Все темноцветные минералы концентрируют скандий. Судя по данным для щелочных пород, низкотемпературные, темноцветные минералы более обогащены этим элементом по сравнению с высокотемпературными.

**Редкоземельные элементы.** Мы в основном на собственном материале исследовали состав редкоземельных элементов в породообразующих темноцветных минералах. Полученные данные (табл. 86; рис. 5) позволяют наметить ряд предварительных закономерностей:

1. Для пироксенов характерны цериевые или иттриевые составы редкоземельных элементов. Обогащения промежуточными лантаноидами, как правило, не наблюдается. Более цериевые составы характерны для ультраосновных пород, эклогитов и щелочных гранитов; более иттриевые — для габброидов и нефелиновых сиенитов.

2. Для амфиболов большинства типов пород характерен сдвиг максимума с церия на неодим или, по крайней мере, содержания

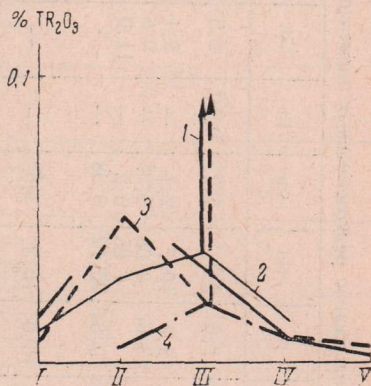


Рис. 5. Распределение редкоземельных элементов в пироксенах, амфиболах и слюдах из пород различных генетических типов  
См. условные обозначения к рис. 3

Содержание редкоземельных элементов в породообразующих темноцветных минералах, %

Минерал (место взятия)	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu	Y	$\Sigma TR_2O_3\%$	Используемые материалы
Пироксен из эклогитов (Япония)	17,0	42,0	1,6	24	5,7	0,50	2,5	0,065	—	0,024	0,2	0,0056	0,1	0,012	18	—	Noddack, 1935
Роговая обманка из амфиболитов (Кольский п-ов)	21,4 3,6 9,9	36,0 13,8 10,0	2,8 3,6	10,7 2,05 7,05	2,1 9,25 10,2	—	2,1 9,6 11,0	—	— 3,6?	—	—	—	—	—	24,5 47,7 52,0	— 0,005 0,003	Материалы А. А. Кременецкого, данные авторов
Гастингсит из гнейсов (Катугин)	25,43	19,18	9,64	22,12	3,38	—	—	?	1,77	3,61	—	—	—	—	14,82	—	Материалы Г. Н. Мухитдинова, данные авторов
Биотит из гнейсов (Катугин)	14,8	19,4	10,0	10,3	3,5	—	—	3,8	3,7	15,8	—	2,1	—	2,2	14,3	—	То же
Пироксен из пироксенита (Кольский п-ов; среднее из 7 анализов)	21	56	1,9	14	1,6	—	0,7	—	—	0,4	—	—	—	—	4,8	—	Кухаренко, Кнепр, 1962
Тремолит из пироксенита (Лесная Варакка, Кольский п-ов)	35	50	3,6	11	0,2	—	—	0,4	—	0,4	—	—	—	—	—	—	Семенов, 1963
Авгит из габбро (Святой Маркос)	0,6	—	—	—	6,7	0,92	—	1,32	11,9	1,5	—	0,69	6,1	1,1	51,8	—	Towell D. I., 1965
Роговая обманка из габбро (Святой Маркос)	2,1	—	—	—	7,9	2,1	—	1,8	11,5	2,5	—	1,20	6,8	1,07	64,1	—	То же
Эгирин-диопсид из фойяита (Тува)	5,7	13,5	2,5	11,6	7,0	—	—	3,6	—	5,1	—	2,7	—	2,8	45,4	—	Павленко, Вайнштейн, Туранская, 1959
Эгирин-диопсид из пегматитов нефелиновых сиенитов (Урал)	5,4	18,5	—	0,5	0,9	—	—	1,8	—	1,7	—	5,4	1,8	12,3	51,4	—	Семенов, 1963
Гастингсит из щелочных сиенитов (Забайкалье)	14,68	19,67	3,29	23,52	8,72	—	—	7,23	—	3,71	—	—	—	—	19,14	—	Данные авторов
Гастингсит из нефелиновых сиенитов (Забайкалье)	15,49	10,39	10,44	14,87	12,57	—	—	12,99	—	7,87	—	—	—	—	10,0	—	То же
Гастингсит (Турпи, Туркестано-Алай)	7	33	4,7	29,0	3,3	—	—	3,3	—	—	—	—	—	—	19,4	—	»
Амфибол (Ак-Сай, Туркестано-Алай)	15,4	30,2	16,1	18,0	6,1	—	-4,0	—	2,1	—	0,4	—	—	—	7,7	0,054	»
Амфибол (Акба-Сай, Туркестано-Алай)	52,8	13,3	9,2	6,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18,1	0,0032	»
Гастингсит (Кши-Орда, Казахстан)	23,4	43,0	8,6	11,2	1,7	—	-2,0	—	2,1	—	0,6	—	—	—	7,2	0,146	Данные авторов
Арфведсонит из сиенит-пегматитов	21,3	—	10,9	30,0	10,0	21	6,9	—	—	14,6	3,2	6,0	2,8	6,8	13,4	—	»
Биотит из щелочных сиенитов	63	21	5,2	9,2	1,3	—	—	0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	Кочинян, 1963
Эгирин (Джугджур)	5,12	32,19	2,59	21,68	4,28	—	—	4,96	—	4,40	—	1,49	—	6,20	16,33	—	Данные авторов
Роговая обманка из гранита (Тува)	11	24	3,7	14	4,7	—	—	4,3	0,6	4,4	1,4	2,4	—	1,7	28	—	Павленко, Вайнштейн, Туранская, 1959
Рибекит из щелочного гранита	7,96	2,68	2,68	43,67	14,21	—	—	8,77	—	9,07	—	—	—	—	10,97	—	Данные авторов
Белоруссия, Акжайляу	7,4	17,6	1,9	10,7	4,3	—	—	5,6	—	17,4	7,2	13	1,2	11,6	2,1	—	Минеев, 1968
Алтай	12,51	12,57	2,10	16,64	6,40	—	—	3,75	1,09	2,97	2,2	7,92	0,36	6,29	25,19	—	Данные авторов
Талгар	27,1	27,2	4,9	22,8	3,1	—	—	2,2	—	—	—	—	—	—	12,7	0,012	»
Амфибол (Белоруссия)	36,2	24,1	1,8	17,8	0,5	—	—	0,5	—	0,5	—	—	—	—	13,5	0,012	Материалы Л. В. Ганзеевой, данные авторов
Биотит из гранита (Дара-Пиоз)	22,28	14,95	3,76	23,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35,98	—	То же
из лейкократового гранита (Сев. Карелия)	260	—	7,7	24,9	5,4	0,04	—	—	0,8	4,9	1,1	0,31	0,4	2,5	26,0	—	Жиров, Лаврентьев, 1961
из граносиенита (Казахстан)	23,4	3,85	6,9	22,5	3,4	0,1	—	2,7	—	2,5	—	—	—	—	—	—	Минеев, 1968
из гранита (Украина)	22,1	42,9	35	21,4	4,6	—	33	—	—	14	—	—	—	—	—	—	Гаврилова, Туранская, 1958

неодима близки к содержанию церия. Характерно также, особенно для амфиболов щелочных гранитов и метаморфических пород, значительное обогащение промежуточными лантаноидами.

Более цериевые составы характерны для ультраосновных пород и нефелиновых сиенитов, более иттриевые — для габброидов, гранитоидов и щелочных гранитов.

3. Магнезиально-железистые слюды, в основном как и пироксены, имеют максимумы либо четко цериевые, либо иттриевые и, как правило, не обогащаются промежуточными лантаноидами.

Более цериевые составы характерны для щелочных сиенитов и граносиенитов, более иттриевые — для гранитоидов.

4. Наибольший интерес для нас представляло сопоставление составов редкоземельных элементов в различных темноцветных минералах одних и тех же пород. Для нефелиновых сиенитов (рис. 6) была отмечена четкая закономерность в распределении редкоземельных элементов. Биотиты этих пород концентрируют преимущественно

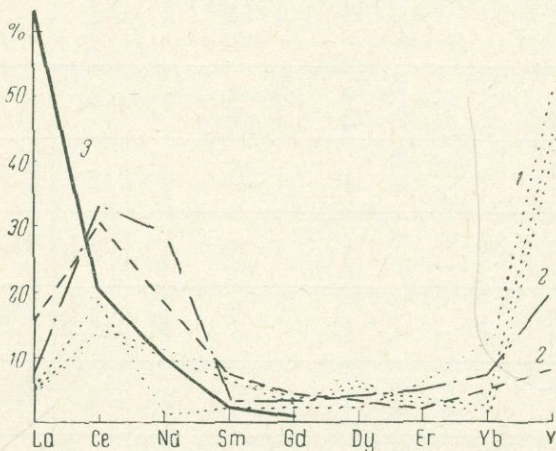


Рис. 6. Состав редкоземельных элементов в пироксенах, амфиболах и слюдах из нефелиновых сиенитов

1 — пироксены; 2 — амфиболы; 3 — слюды

тяжелые лантаноиды, а амфиболы характеризуются промежуточными составами. Эта же закономерность подтверждается и на примере габброидов (Towell, 1965; рис. 7), хотя здесь она проявлена и не столь ярко.

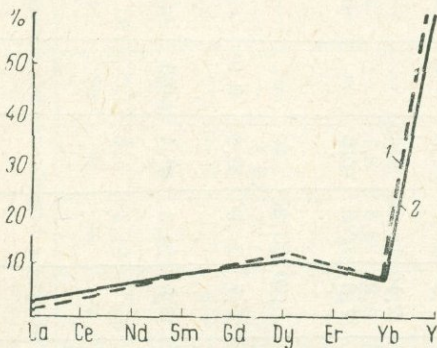


Рис. 7. Состав редкоземельных элементов в пироксенах и амфиболах из габброидов

1 — пироксены; 2 — амфиболы

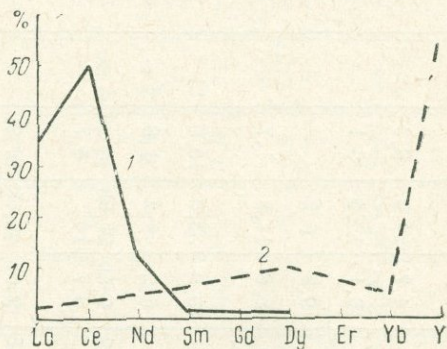


Рис. 8. Состав редкоземельных элементов в амфиболах из ультраосновных пород и габброидов

1 — ультраосновные породы; 2 — габброиды

Большой интерес представляют данные Ноддак (J. Noddak, 1965) по распределению редкоземельных элементов в породообразующих минералах эклогитов и данные Товела (D. Towell, 1965) по распределению этих элементов в породообразующих минералах габбро. Эти данные позволяют сделать вывод о том, что состав редкоземельных элементов в темноцветных породообразующих минералах во многом зависит от того, в парагенезисе с какими другими породообразующи-

ми минералами они находятся. Так, при обнаружении пироксена в эклогитах в парагенезисе с селективно иттриевым минералом — гранатом пироксен характеризуется существенно цериевым составом редкоземельных элементов (рис. 8), в то время как при нахождении пироксена в габбро в парагенезисе с кальциевым плагиоклазом и апатитом пироксен концентрирует преимущественно иттрий и тяжелые лантаноиды.

Исследования распределения редкоземельных элементов в пироксенах ультраосновных-щелочных пород одного из карбонатитовых комплексов Сибири (Расс, 1970) показали, что средние содержания  $TR_2O_3$  в них колеблются от 0,02 до 0,04%, а составы редкоземельных элементов характеризуются неодим-цериевыми максимумами.

В табл. 83 сведены все известные нам, очень незначительные и разрозненные данные по содержанию редкоземельных элементов в породообразующих темноцветных. Обстоятельства, сказывающиеся на достоверности приведенных данных, указанные во введении, особенно относятся к редкоземельным элементам, так как в табл. 86 собраны данные спектрального определения иттрия и церия и химического определения  $\Sigma TR$ . Был применен метод простейшего приблизительного пересчета  $\Sigma Y + Ce$  на  $\Sigma TR$ .

Исходя из всего вышесказанного, следующие выводы необходимо считать сугубо предварительными:

1. Содержание редкоземельных элементов в породообразующих темноцветных находится в основном в соответствии с кларками этих элементов в данном типе пород, что совпадает с выводами Д. А. Минеева (1968).

2. Чаще всего наиболее высокие содержания редкоземельных элементов отмечаются в пироксенах. Содержания этих элементов в амфиболах несколько более высокие, чем содержания в слюдах. Однако тенденция к дифференцированию выражена недостаточно четко.

3. Темноцветные породообразующие минералы обычно не концентрируют редкоземельные элементы. Содержание этих элементов в них, как правило, ниже кларковых для породы или же приближается к кларковым значениям. Исключение составляют лишь низкотемпературные темноцветные щелочных пород.

4. В низкотемпературных темноцветных по сравнению с высокотемпературными происходит концентрация редкоземельных элементов.

5. Достаточно высокие содержания редкоземельных элементов в темноцветных позволяют поставить задачу выяснения зависимости состава этих элементов от их генетического положения и от типа их структуры.

**Стронций.** Содержание стронция в темноцветных породообразующих минералах в большинстве пород изменяется в соответствии с изменением кларка его в породе. Довольно неожиданным для нас оказалось, что породообразующие темноцветные, как правило, не концентрируют стронций, т. е. содержание этого элемента в породообразующих темноцветных ниже его кларка в породе (рис. 9). Чаще всего преимущественно обогащены стронцием амфиболы.

**Барий.** Содержания бария в породообразующих темноцветных минералах в основном изменяются в соответствии с кларками этого элемента в породах, исключение представляют лишь слюды щелочных пород. Наблюдается преобладание бария в слюдах, по сравнению с амфиболами и пироксенами, в среднем на целый порядок; амфиболы имеют в подавляющем большинстве типов образований более высокие содержания бария, чем пироксены (см. рис. 9). Из темноцветных породообразующих только слюды являются концентраторами бария; в амфиболах и пироксенах содержание бария ниже их кларка в данном типе пород. На примере амфиболов щелочных пород можно заметить, что

низкотемпературные разности по сравнению с высокотемпературными обеднены барием.

**Бор.** Несмотря на то что по содержанию бора в темноцветных минералах имеется очень незначительное количество данных, вряд ли можно рекомендовать бор в качестве индикаторного элемента, так как пока его содержание в этих минералах находится на грани чувствительности определения спектральным методом (табл. 87).

Амфиболы, по-видимому, обогащены бором, но это обогащение очень незначительно (порядок цифр для темноцветных всех типов почти одинаков) по сравнению со слюдами и пироксенами. Можно констатировать, что породообразующие темноцветные минералы не концентрируют бор (содержания приблизительно соответствуют кларкам его в данном типе пород). Однако необходимо отметить, что для тем-

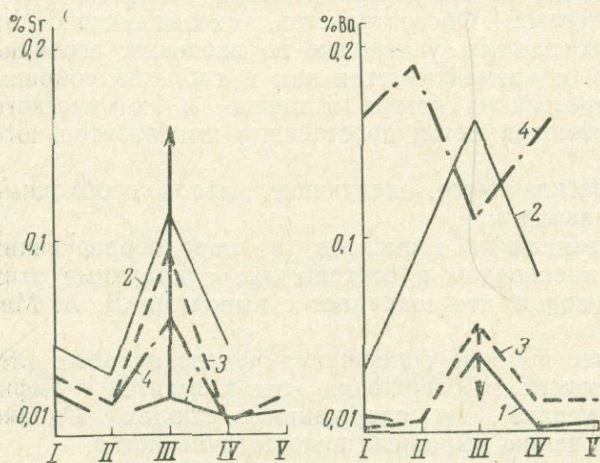


Рис. 9. Распределение стронция и бария в пироксенах, амфиболах и слюдах из пород различных генетических типов

См. условные обозначения к рис. 3

ноцветных из месторождений или рудопоявлений бора характерно очень резкое обогащение этим элементом (пироксены до 0,1, амфиболы до 0,028%).

Важно подчеркнуть справедливость высказанного В. М. Гольдшмидтом (1938) положения о том, что бор в основном элемент осадочных пород и в магматических процессах заимствуется из осадочных пород, преимущественно глинистых. Действительно, при анализах темноцветных из интрузивных пород обнаруживается резкое обогащение бором (до 0,015%) темноцветных из переработанных ксенолитов сланцев.

**Бериллий.** Содержание бериллия в темноцветных минералах из пород различных типов (см. табл. 84) возрастает в основном в соответствии с возрастанием кларка бериллия в этих породах. Для бериллия характерно достаточно ясно проявленное для большинства генетических типов обогащение амфиболов по сравнению с пироксенами и в особенности со слюдами (рис. 10). Бериллий обычно концентрируется во всех темноцветных минералах. Низкотемпературные генерации темноцветных, судя по щелочным породам, значительно обогащены бериллием по сравнению с высокотемпературными генерациями. Очень важно отметить, что бериллий в разной степени концентрируется в темноцветных минералах разных типов пород. Наибольшая степень концентрации характерна для щелочных пород, а наименьшая — для гранитоидов и метаморфических пород.

**Литий.** Содержание лития в породообразующих темноцветных минералах мало соотносится с его кларками в породах. Распределение лития между породообразующими темноцветными минералами недостаточно четкое. Наблюдается общая тенденция обогащения ли-

Содержание бора в породообразующих темноцветных из пород различных генетических типов

Порода	Регион	Количество анализов	Пироксены, г/т			Количество анализов	Амфиболы, г/т			Количество проб	Темные слюды, г/т			Среднее содержание в данном типе пород	Используемые материалы
			от	до	среднее		от	до	среднее		от	до	среднее		
Основные Щелочные	СССР (Урал)	1	71	160	116	6	51	130	74	—	—	—	—	5	Данные авторов Соболев, 1962
	СССР (Якутия, Урал, Средняя Азия, Таймыр, Казахстан, Дальний Восток)	30	Следы	60	20	40	Следы	200	30	10	Следы	80	10	17	
Гранитоиды	СССР (Забайкалье, Урал)	—	—	—	—	6	Следы	100	48	3	8	19	14	15	Барсуков, 1958; Лисицин, Хитров, 1962
Метаморфические	Канада	—	—	—	—	20	25	60	40	20	23	50	39	100	Токваш, 1965
Скарны	СССР (Якутия), Канада	56	7	42	17	9	20	20	35	—	—	—	—	—	De Vore, 1955

Таблица 88

Содержание цезия в породообразующих темноцветных из пород различных генетических типов

Порода	Регион	Количество анализов	Пироксены, г/т			Количество анализов	Амфиболы, г/т			Количество проб	Темные слюды, г/т			Среднее содержание в данном типе пород	Используемые материалы
			от	до	среднее		от	до	среднее		от	до	среднее		
Высокотемпературные темноцветные															
Щелочные	СССР (Якутия, Дальний Восток, Таймыр, Прибайкалье, Урал)	23	3,5	340	20	31	3	70	29	14	43	124	103	7	Данные авторов
Низкотемпературные темноцветные															
Гранитоиды	Казахстан, Средняя Азия, Белоруссия)	—	—	—	—	3	300	850	490	—	—	—	—	—	То же
	СССР (Забайкалье)	—	—	—	—	5	1	7	5	2	80	200	140	5	Тихомирова, 1969

тием слюд по сравнению с амфиболами и пироксенами, которая не выдерживается лишь в случае щелочных пород, где амфиболы обогащены литием несколько больше, чем слюды (см. рис. 10). Литий существенно концентрируется лишь в биотитах, а также в амфиболах щелочных пород. В пироксенах содержания лития близки к кларковым содержаниям этого элемента в данном типе пород. Важно отметить, что для всех темноцветных минералов щелочных пород характерно

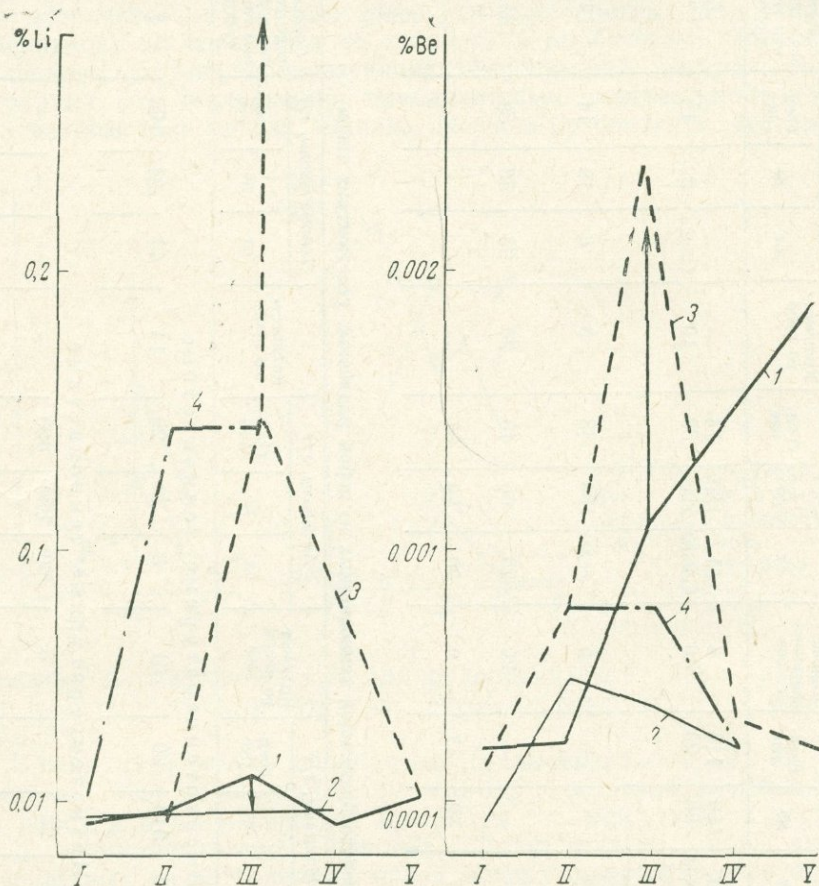


Рис. 10. Распределение лития и бериллия в пироксенах, амфиболах и слюдах из пород различных генетических типов

повышенное, по сравнению с кларком, содержание лития. Отмечается резкое увеличение содержаний лития в низкотемпературных амфиболах-рибекитах и большая степень дифференцирования распределения лития между низкотемпературными амфиболами и пироксенами по сравнению с высокотемпературными.

**Рубидий.** 1. Содержания рубидия в слюдах изменяются в соответствии с изменением кларков этого элемента в породах; для пироксенов и амфиболов эта зависимость не выдерживается. Содержания рубидия в амфиболах и пироксенах близки и значительно меньше его содержаний в слюдах (рис. 11). Концентрируется рубидий только в слюдах и в низкотемпературных амфиболах щелочных пород. Низкотемпературные амфиболы по сравнению с высокотемпературными значительно обогащаются рубидием. Для пироксенов содержание этого элемента уменьшается, а дифференциация его распределения между этими минералами увеличивается.

Цезий. Данные по цезию крайне малочисленны и, по-видимому, поэтому достаточно противоречивы. Можно предварительно констатировать, что наблюдается следующий ряд возрастания содержания цезия: пироксены — амфиболы — слюды (табл. 88). В низкотемпературных темноцветных минералах по сравнению с высокотемпературными наблюдается резкое повышение содержания цезия. Амфиболы и особенно слюды являются существенными концентраторами цезия.

Цинк. Содержания цинка возрастают в ряду пироксены — амфиболы — слюды (см. табл. 84). Концентраторами цинка являются амфи-

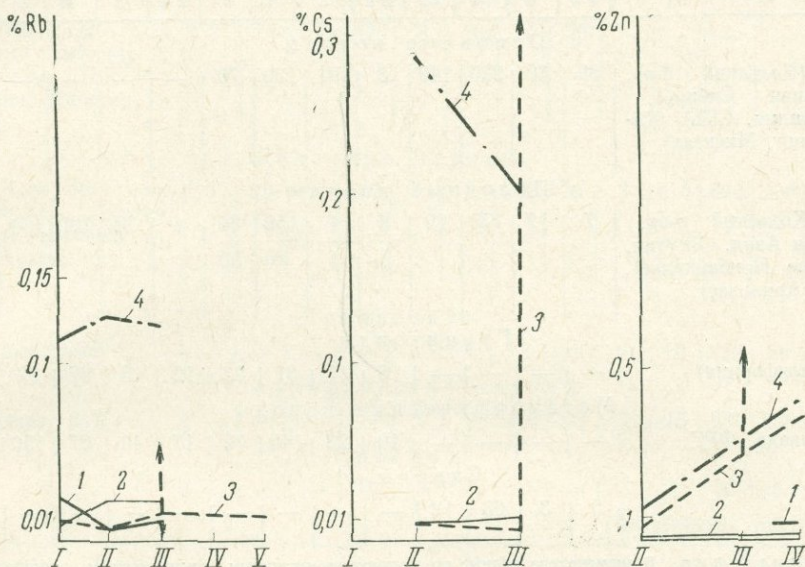


Рис. 11. Распределение рубидия, цезия и цинка в пироксенах, амфиболах и слюдах из пород различных генетических типов  
См. условные обозначения к рис. 3

болы, слюды и в меньшей степени пироксены. Амфиболы низкотемпературных парагенезисов характеризуются более высокими содержаниями цинка, чем амфиболы высокотемпературных парагенезисов.

Свинец. Крайне ограниченные данные по распределению свинца в темноцветных минералах позволяют сделать лишь один вывод — содержания свинца в пироксенах, амфиболах и слюдах, как правило, ниже его кларковых содержаний в данном типе пород, т. е. свинец не концентрируется в породообразующих темноцветных минералах. Исключение представляют лишь низкотемпературные амфиболы (рибекиты). Низкотемпературные темноцветные, по-видимому, содержат больше свинца, чем высокотемпературные. Судя по данным Таусона, для гранитоидов содержание свинца в слюдах выше, чем в амфиболах.

Ванадий. Данные по ванадию довольно многочисленны, но крайне противоречивы. Содержание ванадия в породообразующих темноцветных минералах плохо сочетается с его кларками в породах. Не наблюдается закономерного накопления этого элемента в тех или иных темноцветных минералах. В то же время все темноцветные минералы существенно концентрируют ванадий, и поэтому необходимо, по-видимому, специально обратить внимание на особенности его распределения.

Медь. Изменение содержания меди в породообразующих темноцветных минералах происходит в основном в соответствии с кларками этого элемента в породах (табл. 89). В пироксенах содержания меди

Никель, кобальт, хром и медь в породообразующих темноцветных из пород различных генетических типов

Регион	Ni, г/т											
	Пироксены			Амфиболы			Темные слюды					
	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее

Основные породы

СССР (Кольский п-ов, Восточная Сибирь), Гренландия, США (Калифорния, Мичиган)	35	50	220	140	3	10	130	70	—	—	—	—	160
---	----	----	-----	-----	---	----	-----	----	---	---	---	---	-----

Щелочные породы

СССР (Кольский п-ов, Средняя Азия, Якутия, Северное Прибайкалье), США (Арканзас)	7	12	135	29	8	1	150	80	4	30	100	60	19
					5	1	90	50					

Гранитоиды

США (Калифорния)	—	—	—	—	5	15	31	23	12	5	67	22	8
Метаморфические породы	—	—	—	—	10	23	140	70	17	40	67	150	100

Скарны

Канада	5	3	63	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—
--------	---	---	----	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Примечание. В знаменателе данные по высокотемпературным темноцветным минералам, в числителе — по низкотемпературным.

Продолжение табл. 89

Регион	Co, г/т											
	Пироксены			Амфиболы			Темные слюды			Среднее содержание в данном типе пород		
	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее

Основные породы

СССР (Кольский п-ов, Восточная Сибирь), Гренландия, США (Калифорния, Мичиган)	5	50	100	70	6	10	90	40	—	—	—	—	45
---	---	----	-----	----	---	----	----	----	---	---	---	---	----

Щелочные породы

СССР (Кольский п-ов, Средняя Азия, Якутия, Северное Прибайкалье), США (Арканзас)	2	10	27	18	2	10	50	30	3	40	100	60	5,5
--	---	----	----	----	---	----	----	----	---	----	-----	----	-----

Гранитоиды

США (Калифорния)	—	—	—	—	2	30	30	30	5	12	70	35	50
Метаморфические породы	—	—	—	—	5	20	68	38	8	11	110	35	20

Скарны

Канада	1	1	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	—
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Регион	Cr, г/т											
	Пироксены			Амфиболы			Темные слюды			Среднее содержание в данном типе пород		
	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее

Основные породы

СССР (Кольский п-ов, Восточная Сибирь), Гренландия, США (Калифорния, Мичиган)	7	320	600	420	5	10	26	20	—	—	—	—	200
---	---	-----	-----	-----	---	----	----	----	---	---	---	---	-----

Щелочные породы

СССР (Кольский п-ов, Средняя Азия, Якутия, Северное Прибайкалье), США (Арканзас)	5	10	970	810	7	3	230	70	3	0,0	600	200	38
--	---	----	-----	-----	---	---	-----	----	---	-----	-----	-----	----

Гранитоиды

США (Калифорния)	—	—	—	—	5	35	78	56	4	10	110	80	25
Метаморфические породы	—	—	—	—	7	3	400	53	7	15	600	230	100

Скарны

Канада	1	1	—	—	15	—	—	—	—	3	1	25	6
--------	---	---	---	---	----	---	---	---	---	---	---	----	---

Продолжение табл. 89

Регион	Mn, г/т											
	Пироксены			Амфиболы			Темные слюды			Среднее содержание в данном типе пород		
	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее

Основные породы

СССР (Кольский п-ов, Восточная Сибирь), Гренландия, США (Калифорния, Мичиган)	5	51	180	110	3	5	71	40	—	—	—	—	100
---	---	----	-----	-----	---	---	----	----	---	---	---	---	-----

Щелочные породы

СССР (Кольский п-ов, Средняя Азия, Якутия, Северное Прибайкалье), США (Арканзас)	3	7	36	22	5	60	41	20	—	—	—	—	42
--	---	---	----	----	---	----	----	----	---	---	---	---	----

Гранитоиды

США (Калифорния)	—	—	—	—	17	15	72	30	—	—	—	—	20
Метаморфические породы	—	—	—	—	7	11	35	23	8	30	67	50	57

Скарны

Канада	5	10	15	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
--------	---	----	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

обычно выше, чем в амфиболах (данных по слюдам явно недостаточно). Концентраторами меди являются пироксены.

Олово, молибден, уран, галлий, таллий, германий и индий (табл. 90). Для этих элементов количество данных преимущественно по темноцветным минералам гранитоидов весьма ограничено (Барсуков, 1957; Иванов, 1966; Иванова, 1970; Таусон, 1961 и др.).

Анализ полученных данных показывает, что большинство редких элементов, кроме редкоземельных элементов и стронция, в значительной степени концентрируется в тех или иных породообразующих темноцветных минералах.

Т а б л и ц а 90

Редкие элементы в темноцветных минералах гранитоидов

Элемент	Минерал	Количество анализов	Среднее содержание, г/т	Коэффициент концентрации
Zn	Биотит . . . . .	40	135	45,0
Mo	Авгит . . . . .	—	2	2,0
Mo	Биотит . . . . .	5	4	4,0
U	Авгит . . . . .	—	2	0,5
U	Роговая обманка . . . . .	5	4	1,0
U	Биотит . . . . .	—	47	12,0
Ga	Роговая обманка . . . . .	—	18	1,0
Ga	Биотит . . . . .	6	49	2,5
Tl	Роговая обманка . . . . .	—	0,7	0,5
Tl	Биотит . . . . .	3	6	4,0
Ge	Авгит . . . . .	—	2	1,5
Ge	Роговая обманка . . . . .	—	2	1,5
In	Пироксен . . . . .	—	0,3	2
In	Роговая обманка . . . . .	—	0,8	3
In	Биотит . . . . .	—	0,5	2

Т а б л и ц а 91

Наибольшие средние коэффициенты концентрации элементов в породообразующих минералах

Элемент	Минерал				
	Калиевые полевые шпаты	Плагиоклазы	Пироксены	Амфиболы	Слюды
Li	0,5	0,4	4 (III)	80 (III)	25 (III, IV)
Rb	9	1 (III)	4 (I)	2,5 (III)	50 (I, IV)
Cs	10 (V)	0,6	3 (III)	70 (III)	28 (III, IV)
Sr	5 (II)	4,5 (I, IV)	0,4	0,8	0,5
Ba	21 (II)	1,5	0,1	0,4	5 (I)
Be	2 (III)	5 (IV, VI)	7 (I)	20 (III)	2 (III)
B	0,6	7,5 (II, IV)	2 (I)	2 (III, IV)	0,4
Pb	2 (III, IV)	2,7 (III)	0,3	30 (III)	37 (IV)
Zn	—	—	2 (III)	67 (III)	40 (III)
Ti	—	—	1,5 (III)	2 (III)	8 (III)
Nb	—	—	10 (III)	12 (III)	7,5 (IV)
Ta	—	—	27 (III)	7 (III)	5 (IV)
Zr	—	—	7 (III)	4 (III)	1 (VII)
Sc	—	—	8 (I, VII)	44 (IV)	5 (IV)
Mn	—	—	1	8 (VII)	4 (IV)
Ga	0,8	0,8	2 (III)	—	—
Tl	20 (V, VI)	4 (VI)	—	—	—
V	—	—	10 (III)	20 (III)	3 (VII)
TR	—	—	1 (I)	2 (IV)	0,4 (VII)

Примечание. I — габброиды; II — основные эффузивы; III — щелочные; IV — гранитоиды; V — редкометалльные пегматиты; VI — грейзены; VII — метаморфические породы.



Средние составы породообразующих темноцветных минералов основных типов интрузивных пород

Порода	Минерал	Количество анализов	Компоненты, вес. %												
			SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	F	
Габброиды	Моноклинные пироксены <sup>1</sup> . . . . .	56	50,00	0,90	3,44	2,60	8,00	14,00	0,22	20,00	0,50	0,09	—	—	
	Амфиболы <sup>2</sup> . . . . .	18	44,80	1,26	10,94	2,93	9,73	13,80	0,20	11,72	1,70	0,28	2,60	0,37	
	Слюды <sup>3</sup> . . . . .	12	36,15	4,64	15,55	3,66	16,87	10,34	0,20	1,20	0,46	8,07	2,53	1,20	
Гранитоиды	Амфиболы <sup>4</sup> . . . . .	17	42,00	1,49	9,56	5,42	18,47	7,13	0,42	11,03	1,34	1,21	1,63	0,65	
	Слюды <sup>5</sup> . . . . .	19	36,80	3,16	14,26	5,40	19,41	7,62	0,29	0,81	0,60	8,23	2,51	1,73	
Нефелиновые сиениты	Моноклинные пироксены <sup>6</sup> . . . . .	25	48,67	1,10	3,32	11,70	10,46	5,23	0,57	12,46	5,27	0,77	—	—	
	Амфиболы <sup>7</sup> . . . . .	50	42,52	1,35	7,65	9,64	18,22	4,03	0,93	7,22	4,90	1,91	1,25	1,10	
	Слюды <sup>8</sup> . . . . .	16	34,06	2,99	14,29	8,72	20,57	6,61	0,60	0,91	0,62	8,26	2,50	0,54	

<sup>1</sup> (Na<sub>0,04</sub>Ca<sub>0,8</sub>Mg<sub>0,16</sub>)<sub>1,0</sub>(Mg<sub>0,63</sub>Fe<sub>0,25</sub><sup>2+</sup>Fe<sub>0,07</sub><sup>3+</sup>Ti<sub>0,03</sub>Al<sub>0,02</sub>)<sub>1,0</sub>(Si<sub>1,87</sub>Al<sub>0,15</sub>)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>
<sup>2</sup> (Na<sub>0,48</sub>K<sub>0,05</sub>Ca<sub>1,82</sub>)<sub>2,35</sub>(Mg<sub>2,98</sub>Fe<sub>1,4</sub><sup>2+</sup>)<sub>4,18</sub>(Fe<sub>0,32</sub><sup>3+</sup>Ti<sub>0,14</sub>Al<sub>0,36</sub>)<sub>0,82</sub>(Si<sub>6,49</sub>Al<sub>1,51</sub>)<sub>8,0</sub>O<sub>22</sub>(OH<sub>1,83</sub>F<sub>0,17</sub>)<sub>2</sub>
<sup>3</sup> (K<sub>1,59</sub>Na<sub>0,14</sub>Ca<sub>0,2</sub>)<sub>1,93</sub>(Mg<sub>2,39</sub>Fe<sub>2,21</sub><sup>2+</sup>)<sub>4,60</sub>(Fe<sub>0,43</sub><sup>3+</sup>Ti<sub>0,54</sub>Al<sub>0,43</sub>)<sub>1,40</sub>(Si<sub>5,60</sub>Al<sub>2,41</sub>)<sub>8,0</sub>O<sub>20</sub>(OH<sub>2,61</sub>F<sub>0,59</sub>O<sub>0,8</sub>)<sub>4,0</sub>
<sup>4</sup> (Na<sub>0,4</sub>K<sub>0,24</sub>Ca<sub>1,81</sub>)<sub>2,45</sub>(Mg<sub>1,63</sub>Fe<sub>2,42</sub><sup>2+</sup>)<sub>4,05</sub>(Fe<sub>0,62</sub><sup>3+</sup>Ti<sub>0,17</sub>Al<sub>0,16</sub>)<sub>0,95</sub>(Si<sub>6,43</sub>Al<sub>1,57</sub>)<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH<sub>1,67</sub>F<sub>0,31</sub>)<sub>1,98</sub>
<sup>5</sup> (K<sub>1,67</sub>Na<sub>0,18</sub>Ca<sub>0,14</sub>)<sub>1,99</sub>(Mg<sub>1,81</sub>Fe<sub>2,62</sub><sup>2+</sup>)<sub>4,43</sub>(Fe<sub>0,65</sub><sup>3+</sup>Ti<sub>0,38</sub>Al<sub>0,54</sub>)<sub>1,57</sub>(Si<sub>5,86</sub>Al<sub>2,14</sub>)<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(OH<sub>2,67</sub>F<sub>0,87</sub>O<sub>0,46</sub>)<sub>4,0</sub>
<sup>6</sup> (Na<sub>0,39</sub>K<sub>0,04</sub>Ca<sub>0,51</sub>Mn<sub>0,02</sub>Mg<sub>0,04</sub>)<sub>1,0</sub>(Mg<sub>0,26</sub>Fe<sub>0,34</sub><sup>2+</sup>Fe<sub>0,34</sub><sup>3+</sup>Ti<sub>0,03</sub>Al<sub>0,03</sub>)<sub>1,0</sub>(Si<sub>1,88</sub>Al<sub>0,12</sub>)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>
<sup>7</sup> (Na<sub>1,51</sub>K<sub>0,39</sub>Ca<sub>1,21</sub>)<sub>3,11</sub>(Mg<sub>0,95</sub>Mn<sub>0,13</sub>Fe<sub>2,42</sub><sup>2+</sup>)<sub>3,50</sub>(Fe<sub>1,15</sub><sup>3+</sup>Ti<sub>0,16</sub>Al<sub>0,19</sub>)<sub>1,50</sub>(Si<sub>0,76</sub>Al<sub>1,24</sub>)<sub>8,0</sub>O<sub>22</sub>(OH<sub>1,32</sub>F<sub>0,55</sub>)<sub>1,87</sub>
<sup>8</sup> (K<sub>1,63</sub>Na<sub>0,19</sub>Ca<sub>0,16</sub>)<sub>2,04</sub>(Mg<sub>1,58</sub>Fe<sub>2,84</sub><sup>2+</sup>)<sub>4,42</sub>(Fe<sub>1,05</sub><sup>3+</sup>Ti<sub>0,36</sub>Al<sub>0,16</sub>)<sub>1,57</sub>(Si<sub>5,46</sub>Al<sub>2,54</sub>)<sub>8,0</sub>O<sub>20</sub>(OH<sub>2,68</sub>F<sub>0,27</sub>O<sub>1,05</sub>)<sub>4,0</sub>

тия является его связь с фтором (подтверждается на примере собственно литиевых слюд; и на это же указывает Э. И. Пополитов).

В ряду слюда — амфибол — пироксен увеличивается количество кальция и кремния, а также степень окисления железа. Поэтому естественно ожидать, что в этом ряду будут увеличиваться количества изоморфных с кальцием редкоземельных элементов и стронция. Для редкоземельных элементов эта закономерность подтверждается эмпирическими данными, в то время как для стронция она выдерживается

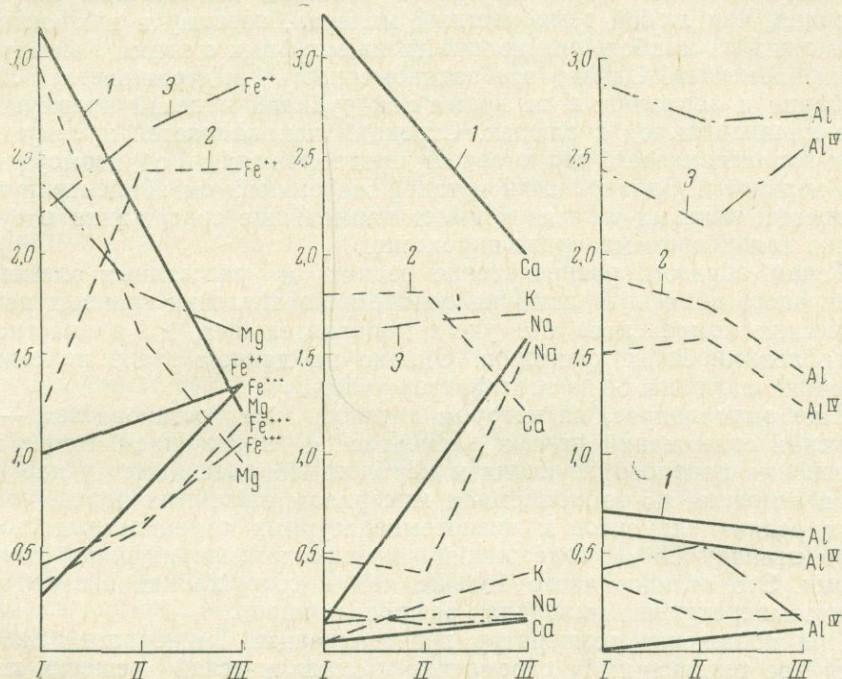


Рис. 12. Распределение главных химических компонентов в пироксенах, амфиболах и слюдах основных типов магматических пород

См. условные обозначения к рис. 3

лишь отчасти в том смысле, что в амфиболах стронция действительно больше, чем в слюдах, но в пироксенах почти всех типов пород содержания его ниже, чем в амфиболах, что требует дополнительных объяснений.

Вхождение циркония в темноцветные минералы, по-видимому, определяется отношением  $Fe^{3+}:Fe^{2+}$ . Элементы III группы — марганец, бор и стронций — максимально накапливаются в амфиболах. Из основных петрохимических параметров только железистость средних составов, по нашим расчетам, имеет максимум для амфиболов. Поэтому мы считаем возможным связать накопление марганца с железистостью.

Для бора, по-видимому, существенным фактором является изоморфизм с алюминием, о чем можно судить по наличию борового аналога альбита (ридмерджерит) и борового аналога (анортита (данбурит), однако в таком случае бор должен был бы преимущественно накапливаться в слюдах. На самом деле этого не происходит, и мы затрудняемся пока, как и в отношении распределения стронция, дать этому объяснение.

Для элементов IV группы (скандия, ванадия, отчасти тантала и циркония), изменяющих характер распределения в щелочных породах, характерно, что все они связаны с железом.

И действительно, только для трехвалентного железа мы имеем аналогичный характер распределения. Тантал и ванадий обнаруживают прямую зависимость от характера распределения  $Fe^{3+}$ , а скандий — обратную. Для ряда элементов, в том числе для бериллия, нам не удалось пока обнаружить четких закономерностей распределения.

Интересно сопоставить накопление редких элементов в полевых шпатах (данные приведены в следующем разделе) и темноцветных минералах.

Полевые шпаты характеризуются большим количеством калия и алюминия, чем любой темноцветный минерал, поэтому в них следовало бы ожидать наибольших количеств изоморфных с этими элементами редких элементов. Однако эта закономерность выдерживается лишь для бария и бериллия, в то время как рубидий и цезий преимущественно накапливаются в слюдах. Стронций накапливается преимущественно в плагиоклазах, что отвечает предположению об изоморфизме его с кальцием. Однако почти в такой же степени он концентрируется в калиевых полевых шпатах и имеет наименьшие содержания в существенно кальциевом минерале пироксене.

Таким образом, распределение редких и рассеянных элементов нельзя часто объяснить лишь на основе распределения главных петрохимических компонентов без учета дополнительных, и в частности кристаллохимических, факторов. Однако на данном этапе исследования мы не способны были этот фактор учесть.

Еще один вопрос, на котором хотелось бы остановиться, — это изменение содержаний редких элементов с понижением температур образования порообразующих минералов. По имеющимся у нас данным, в основном по темноцветным минералам щелочных пород, содержания редких элементов в низкотемпературных темноцветных значительно отличаются от содержаний в высокотемпературных темноцветных. Это отличие часто больше, чем в содержаниях элементов в высокотемпературных минералах различных пород.

При понижении температур кристаллизации минералов наблюдается две тенденции: 1) стремление кристаллической решетки избавиться от примесей в результате упорядочения; 2) накопление редких элементов в растворе (расплаве) на конечной стадии формирования интрузии.

Судя по имеющемуся у нас материалу, большинство редких элементов накапливается в низкотемпературных темноцветных. И лишь для бария и титана определяющей является первая тенденция. Необходимо подчеркнуть, что ряд элементов избирательно накапливается в тех или иных низкотемпературных темноцветных минералах (так, тантал преимущественно накапливается в пироксенах).

Происходит обеднение низкотемпературных пироксенов и резкое обогащение амфиболов марганцем, рубидием и цирконием.

Для большинства редких элементов, таких как Ti, Nb, Ta, Zr, Sr, редкоземельные элементы, Ba, Ni, Co и отчасти Be и В, наблюдается тесная связь величины их кларков в породах и концентраций в порообразующих темноцветных минералах, для других элементов — Li, Rb, Sc, V, Cs, Zr — такой зависимости не наблюдается.

Из рассмотрения имеющегося материала по темноцветным минералам можно сделать следующие выводы.

1. Значительные концентрации ряда редких и рассеянных элементов в порообразующих минералах, по сравнению с кларками, и значительные вариации их содержаний в зависимости от генетических условий позволяют выявить геохимические различия геологических образований там, где эти различия не могут быть определены по валовым геохимическим характеристикам пород.

2. Резко различные уровни содержаний отдельных редких элемен-

тов в разных породообразующих минералах приводят к тому, что смена одних породообразующих минералов другими ведет к высвобождению большого количества редких и рассеянных элементов, что может приводить к образованию рудных концентраций.

3. Высокие концентрации ряда редких и рассеянных элементов в породообразующих минералах часто значительно затрудняют оценку промышленных объектов, так как оказывается, что высокие содержания полезного компонента связаны в основном с его высокими содержаниями в породообразующих, чаще всего темноцветных, минералах и что извлекаемость рудного минерала ничтожна или же что необходимые отношения, например,  $Ta:Nb$  или  $\Sigma Y:\Sigma Ce$  в рудном объекте обязаны высокому отношению  $Ta:Nb$  или  $\Sigma Y:\Sigma Ce$  в породообразующих минералах, а не в рудных минералах.

4. Очень высокие концентрации таких элементов, как  $Zn$ ,  $V$ ,  $Sc$ ,  $Cs$ ,  $Li$ , в породообразующих темноцветных минералах позволяют ставить вопрос о возможности попутного извлечения некоторых наиболее дефицитных из этих минералов на действующих и проектируемых предприятиях.

### ПОЛЕВЫЕ ШПАТЫ

Полевые шпаты являются главной составной частью большинства как интрузивных, так и эффузивных магматических горных пород — кислых, щелочных, средних, основных. Они отсутствуют лишь в ряде ультраосновных и щелочных разностей. Кроме того, они являются главными породообразующими минералами большинства гнейсов и кристаллических сланцев, в ряде осадочных пород — песчаниках и т. п.

В группе полевых шпатов выделяется большое количество разновидностей, различающихся по своим химическим, физическим и структурным свойствам. Химически полевые шпаты представлены различными членами тройной системы  $NaAlSi_3O_8-KAlSi_3O_8-CaAl_2Si_2O_8$ . Минералы, промежуточные между  $NaAlSi_3O_8$  и  $KAlSi_3O_8$ , составляют группу щелочных полевых шпатов. К ним относятся альбит-калиевые полевые шпаты (ортоклаз, микроклин, амазонит, санидин и пр.). Минералы, промежуточные между  $NaAlSi_3O_8-CaAl_2Si_2O_8$ , называются плагиоклазами. Щелочные полевые шпаты содержат в твердом растворе до 5—10% кальциевой составляющей. При этом разности, богатые натрием, могут содержать больший процент кальция. В состав плагиоклазов обычно входит от 5 до 10% калиевой составляющей, причем к натриевому концу серии процент  $KAlSi_3O_8$  возрастает (Дир, Хауп, Зусман, 1966).

Плагиоклазы представляют собой непрерывную химическую серию от альбита —  $NaAlSi_3O_8$  до анортита —  $CaAl_2Si_2O_8$  с четырьмя промежуточными разностями. Все они характеризуются триклинной структурой, поэтому выделение разновидностей плагиоклазов условное. Изоморфное вхождение в плагиоклазы тех или иных элементов-примесей определяется в основном относительными содержаниями в них ионов кальция и натрия, в меньшей степени — калия. Структурный фактор (структурное состояние, положение замещаемых ионов в структуре минерала) имеет второстепенное значение.

В отличие от плагиоклазов, выделяемые разновидности в группе щелочных полевых шпатов различаются как по химическому составу, так и по структуре. Так, калиевый конечный член может существовать в различных структурных состояниях в зависимости от температуры. Высокотемпературные разности характеризуются моноклинной сингонией (санидин, ортоклаз). Низкотемпературные калиевые полевые шпаты — микроклины — являются триклинными. В самих микроклинах

степень упорядоченности различна и зависит от температуры кристаллизации, или от скорости охлаждения. Самые низкотемпературные микроклины называются максимальными и обладают наиболее косоугольными решетками. По мнению ряда исследователей, степень упорядоченности структур является одним из факторов, определяющих изоморфное вхождение элементов-примесей в калиевые полевые шпаты. Эти полевые шпаты, в отличие от натриевых, редко имеют состав конечного члена. Обычно они содержат в виде примеси  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ . В условиях высоких температур  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  и  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  образуют непрерывный ряд твердых растворов. С понижением температуры происходит распад смеси — образование двух самостоятельных фаз с преобладанием натрия в одной (пертиты), калия — в другой. Присутствие в калиевых полевых шпатах натриевой составляющей оказывается определяющим для изоморфного вхождения в их решетку некоторых из редких элементов, в частности, галлия. Правда, более существенное значение в этом отношении имеют не пертиты распада, а пертиты замещения, образующиеся в начальную стадию натриевого метасоматоза.

Как показывает анализ литературных данных, полевые шпаты в том или ином количестве содержат ряд редких и рассеянных элементов: Rb, Cs, Li, Tl, Be, Ga, Ba, Sr, редкие земли, U, Th, V, Mo, Sn, Pb. Единичные данные имеются о содержании Zr, Ti, V и других элементов. Большинство из перечисленных элементов присутствует в виде изоморфных примесей. Главными факторами, влияющими на концентрацию их в полевых шпатах, наряду со структурным положением замещаемого элемента, структурным состоянием минерала являются его генезис и температура образования. Это позволяет использовать редкие элементы в петрогенетических целях для установления стадийности формирования того или иного геологического образования.

Ниже приводятся средние содержания и коэффициенты концентрации элементов-примесей в главных разновидностях полевых шпатов из пород разных генетических типов, а также рассматриваются условия их концентрации.

Рубидий. Полевые шпаты относятся к минералам-носителям рубидия. На их долю приходится от 55 до 90% общего содержания рубидия в породах (Таусон, Ставров, 1957; Боровик-Романова, Калита, 1958; Боровик-Романова; Соседко, Савинова, 1958; Taylor, Heier, 1958; Ставров, Знаменский, 1961; Ставров, 1963; Куц, Мищенко, 1963). Исключение составляют породы, богатые биотитом, который в этом случае является одновременно минералом-концентратором и минералом-носителем рубидия (Таусон, Ставров, 1957).

Сравнение средних содержаний рубидия в калиевых полевых шпатах с кларками рубидия для соответствующего типа пород (табл. 93) свидетельствует о том, что не все разновидности полевых шпатов являются только минералами-носителями этого элемента. Так, например, амазонит может считаться минералом-концентратором рубидия ( $K$  равно 8,4 и 8,7). Что же касается микроклина, то в качестве только минерала-носителя рубидия он выступает лишь в породах магматического происхождения, в образовании которых не играли заметной роли процессы магматической дифференциации и послемагматического метасоматоза (редкометалльные негрейзенизированные и слабо грейзенизированные граниты,  $K=1,0$ ; нередкометалльные граниты,  $K=1,0$ ; эффузивные породы,  $K=1,1$ ). В породах, являющихся продуктом магматической дифференциации, или метасоматически измененных, коэффициент концентрации рубидия в микроклине заметно превышает единицу, что делает его в этом случае минералом-концентратором рубидия.  $K$  числу последних относится также плагиоклаз щелочных пород.

Средние содержания рубидия в одноименных разновидностях пород в калиевых полевых шпатах в 2—30 раз превышают его содержания в

ассоциирующих с ними плагиоклазах (табл. 94). Последние являются только минералами-носителями рубидия.

Несколько повышенные содержания рубидия в плагиоклазах отмечаются в грейзенизированных разностях гранитоидов (263 г/т) и в замещенных пегматитах (383 г/т). По мнению ряда исследователей (Нокколдс, Митчелл, 1952), это связано не с увеличением изоморфной емкости плагиоклазов, а с процессами их интенсивной серицитизации и мусковитизации.

Из калиевых полевых шпатов наиболее высокие содержания рубидия, наряду с амазонитами, отмечаются еще в микроклинах редкометалльных пегматитов. При этом в замещенных редкометалльных пегматитах оно в 1,5 раза превышает максимальное содержание рубидия в амазонитах.

К числу общих закономерностей поведения рубидия относится четкая его концентрация в ходе процесса магматической дифференциации и обогащение им остаточных расплавов. Так, например, средние содержания рубидия в калиевых полевых шпатах пегматитов в несколько раз превышают его средние содержания в калиевых полевых шпатах материнских пород (в гранитоидах нормальной щелочности — в 8 раз, в щелочных породах — в 7 раз (см. табл. 94). На эту особенность в поведении рубидия указываются в работах многих авторов (Гольдшмидт, Бауэр, Витте, 1938; Таусон, Ставров, 1957; Ставров, 1963; Лин, Морозов, Николаева, 1964; Козлов, Клепикова, Свядковская, 1965).

Проявлением той же закономерности является увеличение содержания рубидия в калиевых полевых шпатах гранитоидов в следующем ряду: вкрапленники гранитов — основная масса гранитов — аплиты — пегматоидные граниты — пегматиты (Седова, Галибин, Котов, 1969; Антипин и др., 1969).

В ходе дальнейшей эволюции магмы и смены магматических процессов относительно более низкотемпературными, постмагматическими (метасоматическими), содержания рубидия в калиевых полевых шпатах продолжают возрастать. Это видно из сравнения среднего содержания рубидия в калиевых полевых шпатах редкометалльных гранитов негрейзенизированных (414 г/т) и грейзенизированных (1545 г/т), редкометалльных пегматитов, слабозамещенных (2717 г/т) и замещенных (9810 г/т). Содержания рубидия в более поздних калиевых полевых шпатах увеличиваются в 3—4 раза.

Так же четко эта закономерность проявляется внутри пегматитовых полей. В этом случае количество рубидия в микроклинах возрастает от простых, слабо зональных пегматитов к сложнодифференцированным, отчетливо зональным пегматитам с широко развитыми процессами замещения. Внутри отдельных зональных пегматитов содержание рубидия возрастает, с одной стороны, в направлении от приконтактных частей к центру, с другой, — по мере уменьшения эрозионного среза пегматитового тела. Указание на обогащенность рубидием более низкотемпературных разностей калиевого полевого шпата имеются во многих работах (Боровик-Романова, Соседко, 1957; Боровик-Романова, Соседко, Савинова, 1958; Taylor, Heier, 1958; Солодов, 1960; Одикадзе, 1960; Учакин, Шиманский, Пауллер, 1962).

В пегматитах наименьшими содержаниями рубидия характеризуются калиевые полевые шпаты слюдоносных и керамических пегматитов. Близкими по содержанию рубидия и отнесенными нами к этой же группе являются пегматитовые тела, сформировавшиеся, по мнению исследователей, *in situ* в ходе процесса региональной гранитизации на больших глубинах (Taylor, Heier, 1958).

В редкометалльных пегматитах содержания рубидия возрастают в 8 раз в слабозамещенных и в 27 раз — в замещенных пегматитах.

Величины коэффициентов концентраций (K) Rb, Li, Cs, Tl, Be, Ga, Ba, Sr, U, B, Mo, Sn, Pb в полевых шпатах

Генетический тип пород	Rb			Cs			Li			Tl			Be			Ga							
	Кларк в по- роде, г/т	Ми	Ам	Пл	Кларк в по- роде, г/т	Ми	Ам	Пл	Кларк в по- роде, г/т	Ми	Ам	Пл	Кларк в по- роде, г/т	Ми	Ам	Пл	Кларк в по- роде, г/т	Ми	Пл				
Гранитоиды нормальной щелочности . . . . .	400	1,3	—	0,2	19	0,6	—	—	70	0,1	—	0,3	2,5	1,8	—	1,2	5,5	0,5	—	2,7	30	0,8	1,0
Редкометалльные	400	3,0	8,4	0,2	—	—	—	—	70	0,3	0,1	0,3	—	—	—	—	5,5	0,4	1,3	3,5	—	—	—
негрейзенизированные или слабо грейзенизированные . . . . .	400	1,0	—	0,1	—	—	—	—	70	0,2	—	0,2	—	—	—	—	5,5	0,3	—	3,1	—	—	—
грейзенизированные . . . . .	400	3,9	8,4	0,7	—	—	—	—	70	0,6	—	0,7	2,5	—	17,6	4	5,5	0,9	1,3	4,9	—	—	—
Нередкометалльные . . . . .	400	1,0	—	—	19	0,6	—	—	70	0,02	—	0,1	2,5	2,0	—	0,2	5,5	0,5	—	1,3	—	—	—
Гранитные пегматиты																							
Слюдяные и керамические . . . . .	180	2,0	—	—	14	0,2	—	—	20	0,6	—	—	—	—	—	—	4	0,3	—	—	—	—	—
Редкометалльные . . . . .	730	9,4	8,7	0,3	81	10,8	3,8	0,7	450	0,4	—	—	3,5	27	—	—	43	0,3	—	—	—	—	—
Гранитоиды повышенной щелочности и щелочные . . . . .	400	1,8	—	0,1	—	—	—	—	70	0,5	—	0,2	2,5	0,2	—	—	5,5	0,4	—	0,7	—	—	—
Щелочные породы . . . . .	190	2,4	—	1,4	7	2,3	—	0,5	40	0,3	—	0,2	—	—	—	—	4,5	2,0	—	—	—	—	—
Пегматиты щелочных пород . . . . .	190	16,0	—	—	7	4,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Средние, основные и ультраосновные по- роды . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19	—	0,8
Эффузивные породы . . . . .	400	1,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Продукты регионального метаморфизма и метасоматоза . . . . .	400	1,3	—	—	19	0,2	—	—	70	0,2	—	—	2,5	2,8	—	—	—	—	—	—	30	0,8	0,7

Продолжение табл. 93

Генетический тип пород	Ba			Sr			U			B			Mo			Sn			Pb			
	Кларк в по- роде, г/т	Ми	Пл	Кларк в по- роде, г/т	Ми	Пл	Кларк в по- роде, г/т	Ми	Пл	Кларк в по- роде, г/т	Ми	Пл	Кларк в по- роде, г/т	Ми	Пл	Кларк в по- роде, г/т	Ми	Пл	Кларк в по- роде, г/т	Ми	Пл	
Гранитоиды нормальной щелочности . . . . .	830	5,0	0,6	300	3	4,5	3,5	2,6	2,8	15	0,6	5,1	1,9	0,3	0,7	45	0,03	0,04	20	1,8	0,5	
Редкометалльные	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
негрейзенизированные или слабо грейзени- зированные . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
грейзенизированные . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Нередкометалльные . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Гранитные пегматиты																						
Слюдяные и керамические . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60	1,7	0,5	—	—	
Редкометалльные . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Гранитоиды повышенной щелочности и щелочные . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	—	1,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Щелочные породы . . . . .	1600	4,3	1,2	1127	2,1	2,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18,3	1,8	2,7
Пегматиты щелочных пород . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Средние, основные и ультраосновные породы . . . . .	270	—	1,5	440	—	4,6	0,8	—	0,1	10	—	7,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Эффузивные породы . . . . .	270	21,3	—	440	5,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Продукты регионального метаморфизма и метасоматоза . . . . .	830	4,5	—	300	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	0,8	—

Примечания. 1. Кларки для пегматитов приведены по Н. А. Солодову (1969), для щелочных пород — по Е. Д. Осокину, для остальных пород — по А. П. Виноградову (1962).  
2. Термин редкометалльные граниты объединяет массивы гранитоидов с проявлением редкометалльной минерализации.  
3. Ми — микроклины; Ам — амазониты; Пл — плагиоклазы.



Рубидия в калиевых полевых шпатах слюдоносных и керамических пегматитов (367 г/т) содержится столько, сколько его в калиевых полевых шпатах гранитоидов нормальной щелочности нередкометалльного типа (377 г/т). Близкими к ним по содержанию рубидия являются также калиевые полевые шпаты из редкометалльных негрейзенизированных гранитов (414 г/т) и из приконтактных частей редкометалльных слабозамещенных пегматитов (450 г/т). Средняя из этих четырех цифр (402 г/т), по-видимому, может характеризовать содержание рубидия в наиболее высокотемпературной, магматической разности калиевого полевого шпата. Этим пределам соответствует содержание рубидия в калиевых полевых шпатах эффузивных пород (430 г/т), где они являются заведомо магматическими.

Из полевых шпатов плагиоклазы в наименьшей степени концентрируют рубидий и за редким исключением являются только его минералом-носителем ( $K < 1$ ). Амазонит, напротив, относится к минералам-концентраторам рубидия ( $K = 8,4-8,7$ ). Что касается микроклинов, то степень концентрации в них рубидия весьма различна. В этом случае содержание рубидия в минерале непосредственно зависит от условий образования последнего и определяется способностью рубидия заметно накапливаться к концу процесса магматической дифференциации и на послемагматической стадии. Это приводит к тому, что микроклин из минерала-носителя ( $K \leq 1$ ), каким он является в слабо дифференцированных, метасоматически неизмененных породах, превращается в минерал-концентратор в конечных продуктах магматической дифференциации и послемагматического метасоматоза ( $K = 3,86; 9,4; 10,4$ ).

Цезий. Содержание цезия в калиевых полевых шпатах выше, чем в ассоциирующих с ними плагиоклазах: в гранитоидах, щелочных и эффузивных породах — в 2—4 раза, в редкометалльных пегматитах — в 8 раз (табл. 95).

Из калиевых полевых шпатов наиболее высокие содержания цезия отмечаются в микроклинах замещенных редкометалльных пегматитов и в амазонитах, причем в первых оно в 3 раза и более выше. В слабозамещенных редкометалльных пегматитах содержание цезия в два раза меньше, чем в амазонитах.

В процессе магматической дифференциации цезий ведет себя аналогично рубидию, т. е. накапливается в остаточных магмах. При этом накопление цезия, ввиду большего ионного радиуса, происходит более интенсивно, чем Rb (Гольдшмидт, Бауэр, Витте, 1938; Taylor, Heier, 1958; Ставров, 1963). Эта закономерность проявляется также: 1) в увеличении содержаний цезия в калиевых полевых шпатах пегматитов по сравнению с калиевыми полевыми шпатами материнских пород (в группе гранитоидов нормальной щелочности — в 12 раз, в группе щелочных пород — в 2 раза, см. табл. 95); 2) в увеличении содержаний цезия в калиевых полевых шпатах гранитоидов в ряду: вкрапленники гранитов — основная масса гранитов — аплиты — пегматоидные граниты — пегматиты (Седова, Галибин, Котов, 1969; Антипин и др., 1969).

В ходе последующих процессов метасоматического замещения тенденция к увеличению содержаний цезия в калиевых полевых шпатах сохраняется. Так, например, в редкометалльных замещенных пегматитах содержание его в калиевых полевых шпатах в 8 раз выше, чем в калиевых полевых шпатах, слабозамещенных пегматитов (см. табл. 95).

По данным ряда авторов, эта же тенденция проявляется и в пределах пегматитовых полей. Содержание цезия возрастает от простых пегматитов к сложнодифференцированным, замещенным, с удалением от материнских интрузий. Внутри отдельных зональных пегматитов увеличение цезия идет от приконтактных частей к центру и по мере

уменьшения эрозионного среза (Боровик-Романова, Соседко, 1957; Солодов, 1960; Учакин, Шиманский, Пауллер, 1962; Ставров, 1963).

Наименьшими содержаниями цезия, как и рубидия, характеризуются микроклины слюдяных и керамических пегматитов (3 г/т). В ту же группу входят крупные пегматитовые тела из областей регионального метаморфизма и гранитизации. В редкометаллических пегматитах содержание цезия в калиевых полевых шпатах увеличивается: в слабо-замещенных пегматитах — в 50 раз, в замещенных — в 350 раз.

Калиевые полевые шпаты слюдяных и керамических пегматитов по средним содержаниям цезия аналогичны калиевым полевым шпатам пород, образовавшихся в процессе метаморфической перекристаллизации *in situ*, в условиях больших глубин и высоких температур. Близка к ним по содержанию цезия группа пород, объединяющая гранитоиды нормальной щелочности (12 г/т), породы краевых частей зональных редкометаллических пегматитов (16 г/т). Содержания цезия в этих пределах (3—16 г/т) могут характеризовать наиболее высокотемпературные, магматические, разности калиевых полевых шпатов из пород, не претерпевших сколько-нибудь значительной дифференциации и не затронутых метасоматическими процессами послемагматической стадии.

Таким образом, цезий, химически сходный с калием, рассеивается в калиевых минералах аналогично рубидию, но по сравнению с рубидием процент цезия, приходящегося на полевые шпаты в породе, резко сокращается. Это приводит к тому, что в большинстве случаев полевые шпаты не являются ни минералами-носителями, ни минералами-концентраторами цезия.

На поведении цезия и степени рассеивания его в породообразующих минералах в еще большей степени, чем для рубидия, сказывается тенденция к накоплению цезия в остаточных расплавах и послемагматических растворах. На послемагматической стадии содержание цезия в микроклинах заметно возрастает, в результате чего они становятся минералами-концентраторами цезия с  $K > 1$ . К числу последних относятся и амзониты. Что же касается плагиоклазов, то в них всегда  $K < 1$  (см. табл. 93).

Литий. С полевыми шпатами связано не более 10% содержащегося в породе лития. Возможность изоморфного вхождения его в решетку полевых шпатов еще более ограничена, чем для цезия. Тем не менее литий в том или ином количестве всегда присутствует в полевых шпатах. По существующему мнению, повышенные содержания этого элемента в полевых шпатах объясняются присутствием в них микровростков минералов лития (Goldschmidt, 1954; Боровик-Романова, Калита, 1958; Ставров, 1963). Данные табл. 96 подтверждают, что ни одна из разновидностей полевых шпатов не является минералом-концентратором лития. Коэффициент концентрации его независимо от их генетической принадлежности  $< 1$ .

Соотношения содержаний лития в сосуществующих микроклинах и плагиоклазах неоднозначны. По данным одних авторов, плагиоклаз характеризуется наибольшими содержаниями лития. На его долю приходится до 20% суммарного количества лития в породе. В микроклинах отмечаются минимальные концентрации его. Причем, связано это со вторичным изменением плагиоклаза, его серицитизацией (Ставров, 1963). Как видно из табл. 96, подобная закономерность справедлива только для нередкометаллических гранитоидов нормальной щелочности, не претерпевших существенной метасоматической переработки. В остальных породах этой закономерности не наблюдается.

Содержание лития в калиевых полевых шпатах, так же как рубидия и цезия, возрастает в ходе процесса дифференциации от материнских гранитоидов (8 г/т) к пегматитам (113 г/т) и от простых, недифференцированных пегматитов (7 г/т) к сложно дифференцированным,

Цезий в полевых

Генетический тип	Калиевые полевые							
	Микроклин, микроклин-пертит, ортоклаз				Амазо			
	регион	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от
Гранитоиды нормальной щелочности (граниты, гранодиориты, диориты)	—	61	Следы	51	12	—	—	—
Редкометалльные, негрейзенизированные или слабо грейзенизированные с орудением пегматитового типа	—	—	—	—	—	—	—	—
Нередкометалльные	СССР (Казахстан, Киргизия, Восточное Забайкалье, Алдан)	39	Следы	51	12	—	—	—
Тип не известен	ГДР, ФРГ, Норвегия, СССР (Кавказ, Прибайкалье)	22	Следы	38	12	—	—	—
Пегматиты, связанные с гранитоидами нормальной щелочности	—	360	Следы	6580	654	Швеция, ГДР, ФРГ, Мадагаскар, США (штат Колорадо), Финляндия, СССР (Урал, Кольский п-ов)	33	14
Керамические и слюдоносные	СССР (Кавказ, Восточная Сибирь)	23	Следы	12	3	—	—	—
Редкометалльные	—	255	16	6580	874	—	—	—
слабозамещенные	СССР (Кольский п-ов, Саяны, Восточная Сибирь), Монгольский Алтай	61	16	430	143	—	—	—
замещенные	СССР (Кольский п-ов, Урал, Забайкалье, Алтай, Карелия, Средняя Азия, Киргизия, Саяны), Норвегия, Швеция, США (штат Северная Каролина), Монгольский Алтай, Финляндия	194	200	6580	1104	—	—	—
Тип не известен	Норвегия, Швеция, ГДР, ФРГ, Мадагаскар, США (штаты Колорадо, Северная Каролина, Дакота), Финляндия, Монголия, СССР (Урал, Карелия, Кавказ, Восточное Забайкалье)	82	1	1880	151	—	—	—
Щелочные породы	СССР (Киргизия, Средняя Азия)	11	3	41	16	—	—	—
Пегматиты, связанные со щелочными породами	Норвегия, СССР (Северное Прибайкалье)	4	4	80	31	—	—	—
Эффузивные породы	СССР (Средняя Азия)	1	12	12	12	—	—	—
Продукты регионального метаморфизма и метасоматоза	Норвегия	11	Следы	16	4	—	—	—

шпатах, г/т

шпаты		Плагиоклаз				Полевые шпаты (плагиоклаз+калиевый полевой шпат)					
нит		регион	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от	до	среднее
до	среднее										
—	—	—	—	—	—	—	—	10	1	10	11
—	—	—	—	—	—	—	СССР (Казахстан, Восточный Саян)	6	1	10	14
—	—	—	—	—	—	—	СССР (Киргизия)	4	2	10	6
—	—	СССР (Прибайкалье, Саяны), Монгольский Алтай	3	3	5	4	—	—	—	—	—
2256	312	—	12	8	420	58	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	12	8	420	58	—	—	—	—	—
—	—	СССР (Саяны), Монгольский Алтай	8	8	20	18	—	—	—	—	—
—	—	СССР (Восточный Саян)	4	30	420	137	СССР (Саяны)	1	220	220	220
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	СССР (Средняя Азия)	1	3,4	3,4	3,4	СССР (Енисейский край)	7	<10	<10	<10
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	СССР (Средняя Азия)	1	6	6	6	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

## Литий в полевых

Генетический тип	Калиевые полевые									
	Микроклин, микроклин-пертит, ортоклаз					Амазо				
	регион	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от	до	среднее
Гранитоиды нормальной щелочности (граниты, гранодиориты, диориты)	—	64	1	71	8	—	—	—	—	—
Редкометалльные	—	16	10	70	20	СССР (Кольский полуостров, Восточное Забайкалье)	3	2	—	—
не грейзенизированные или слабо грейзенизированные с оруденением пегматитового типа	СССР (Восточное Забайкалье)	12	10	20	13	—	—	—	—	—
грейзенизированные с оруденением грейзенового типа и без оруденения	СССР (Восточное Забайкалье, Приазовье)	4	20	70	40	—	—	—	—	—
Нередкометалльные	СССР (Киргизия, Казахстан)	2	1	2	1,5	—	—	—	—	—
Тип не известен	Норвегия, СССР (Кавказ, Прибайкалье, Восточное Забайкалье)	46	1	32	4	—	—	—	—	—
Пегматиты, связанные с гранитоидами нормальной щелочности	—	399	Следы	2800	113	—	—	—	—	—
Керамические и слюдяные	СССР (Кавказ, Восточная Сибирь)	114	1	37	13	—	—	—	—	—
Редкометалльные	—	217	Следы	2800	192	—	—	—	—	—
слабозамещенные	СССР (Кольский п-ов, Саяны)	26	Следы	33	7	—	—	—	—	—
замещенные	СССР (Кольский п-ов, Урал, Забайкалье, Алтай, Карелия, Средняя Азия, Киргизия, Саяны), Норвегия, Монгольский Алтай, Швеция, США (штат Северная Каролина), Финляндия	191	14	2800	217	СССР (Урал, Восточное Забайкалье)	11	1	—	—
Тип не известен	Южная Норвегия, Южная Африка (Трансвааль, Намакваленд, Натал)	68	0,1	1600	28	—	—	—	—	—
Гранитоиды повышенной щелочности, щелочные и связанные с ними пегматиты	СССР (Восточная Сибирь)	57	Следы	78	36	—	—	—	—	—
Щелочные породы и связанные с ними пегматиты	СССР (Киргизия, Казахстан, Средняя Азия, Алдан, Кольский п-ов)	17	1	50	10	—	—	—	—	—
Продукты регионального метаморфизма и метасоматоза	Норвегия	25	0,3	70	0,8	—	—	—	—	—

## шпатах, г/т

шпаты		Плагиоклаз					Полевые шпаты (плагиоклаз + калиевые полевые шпаты)				
нит		регион	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от	до	среднее
до	среднее										
—	—	—	21	Не обн.	70	22	—	—	—	—	—
20	8	—	15	Не обн.	60	19	—	13	4	80	26
—	—	СССР (Восточное Забайкалье)	12	Не обн.	20	11	СССР (Восточное Забайкалье, Казахстан, Восточный Саян)	10	4	40	16
—	—	СССР (Восточное Забайкалье, Приазовье)	3	40	60	50	СССР (Восточное Забайкалье)	3	50	80	60
—	—	СССР (Киргизия, Казахстан)	2	7	7	7	—	—	—	—	—
—	—	СССР (Прибайкалье, Восточное Забайкалье)	4	29	70	41	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
130	39	СССР (Саяны, Кольский п-ов), Монгольский Алтай	24	8	250	73	СССР (Саяны)	1	260	260	260
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	СССР (Восточная Сибирь)	7	6	31	11	—	—	—	—	—
—	—	СССР (Средняя Азия)	1	9	9	9	СССР (Приазовье, Енисейский край, Алдан)	10	2	30	10
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

## Таллий в полевых

Генетический тип	Калиевые полевые							
	Микроклин, микроклин-пертит, ортоклаз				Ама			
	регион	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от
Гранитоиды нормальной щелочности (граниты, гранодиориты, диориты)	—	100	0,5	30	4,5	—	—	—
Редкометалльные, грейзенизированные Нередкометалльные	СССР (Алдан, Киргизия)	28	2	11	5	СССР (Восточное Забайкалье)	1	44
Тип не известен	Южная Африка (Трансвааль, Натал, Капская провинция, Намакваленд), Северная Норвегия	72	0,5	30	4	—	—	—
Пегматиты, связанные с гранитоидами нормальной щелочности	—	169	0,4	610	43	Южная Африка (Трансвааль, Шпицкопф, Мальтахехе, Отиваронго, Намакваленд, Капская провинция), Мадагаскар, Канада (Лабрадор, Онтарио), США (штат Колорадо), Норвегия	16	6
Редкометалльные слабозамещенные	СССР (Кольский п-ов, Казахстан), Монгольский Алтай	61	4	610	93	—	—	—
замещенные	СССР (Кольский п-ов)	11	160	610	412	—	—	—
Тип не известен	Южная Африка (Трансвааль, Натал, Намакваленд, Капская), США (штаты Дакота, Монтана), Норвегия, Канада (Онтарио), СССР (Кавказ, Восточная Сибирь)	108	0,4	184	14	—	—	—
Гранитоиды повышенной щелочности и щелочные	Южная Африка (Трансвааль)	14	0,5	1	0,6	—	—	—
Щелочные породы	СССР (Киргизия)	3	1,2	3,4	2,4	—	—	—
Продукты регионального метаморфизма и метасоматоза	Норвегия	8	2	12	7	—	—	—

замещенным (217 г/т). На эту тенденцию в поведении лития указывают многие исследователи (Злобин, Лебедев, 1960; Ставров, 1963).

Заметное увеличение содержания лития в калиевых полевых шпатах происходит в основном на самых конечных этапах магматической эволюции и особенно — на послемагматическом этапе (см. табл. 96). Четкая связь концентраций лития с пневматолитовой, гидротермальной стадией отмечается многими исследователями и объясняется увеличением на этой стадии роли минерализаторов, в первую очередь фтора (Гинзбург, 1957; Злобин, Лебедев, 1960; Ставров, Знаменский, 1961; Антипин, Клепикова, 1968). Что же касается формы нахождения лития в калиевых полевых шпатах, где его концентрация повышенная, то в отличие от рубидия и цезия здесь нет увеличения изоморфной емкости минерала. Как уже указывалось, повышенные содержания лития в полевых шпатах объясняются присутствием в них микроскопических включений литиевых минералов. Наряду с этим можно предположить, как это сделано в отношении плагиоклазов, что относительно высокая концентрация лития в микроклинах грейзенизированных гранитов (40 г/т) и замещенных пегматитов (217 г/т) может быть отчасти связана с процессами мусковитизации калиевого полевого шпата.

Близки по содержанию лития калиевые полевые шпаты керамических, слюдяных пегматитов (13 г/т) и пород гнейсовой серии — продуктов регионального метаморфизма и метасоматоза (15 г/т). Это сви-

## шпатах, г/т

шпаты		Плагиоклаз				Полевые шпаты (плагиоклаз + калиевые полевые шпаты)					
зонит											
до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от	до	среднее	
—	—	4	Не обн.	10	3	—	11	0,4	4,5	1,5	
44	44	СССР (Восточное Забайкалье)	1	10	10	—	—	—	—	—	
—	—	СССР (Казахстан, Киргизия)	3	Не обн.	1,2	0,4	СССР (Кавказ, Киргизия)	10	0,4	4,2	1,3
—	—	—	—	—	—	СССР (Кавказ)	1	4,5	4,5	4,5	
78	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	СССР (Саяны)	2	1	3	2	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	Африка (Трансвааль, Вармбад, Карибид), Родезия, Норвегия, США (штаты Монтана, Дакота)	7	Следы	7	1,7	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	СССР (Северная Киргизия)	1	1,2	1,2	1,2	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

детельствует о сходных условиях формирования тех и других пород. Ряд исследователей склонны объяснить несколько повышенное содержание лития в калиевых полевых шпатах гнейсов (15 г/т) по сравнению с гранитами (8 г/т) повышенной контаминацией первых (Taylor, Heier, 1958).

Таллий. Минералом-носителем таллия являются калиевые полевые шпаты, с которыми связано 60—90% общего количества таллия в породах. В то же время таллий концентрируется в большем количестве в слюдах, вследствие более выгодного структурного положения калия в их решетке (Таусон, Бузаев, 1957; Злобин, 1958).

Данные табл. 97 свидетельствуют о том, что в большинстве случаев полевые шпаты являются минералом-носителем и минералом-концентратором таллия. Исключение составляют калиевые полевые шпаты гранитоидов повышенной щелочности и щелочных, а также плагиоклазы редкометалльных гранитоидов нормальной щелочности.

Как видно из табл. 98, средние содержания таллия в одноименных разностях пород в калиевых полевых шпатах в 1,5—12 раз превышают его содержания в ассоциирующих плагиоклазах. На это указывают также в своей работе А. М. Демин и Д. Н. Хитаров (1958). Наиболее высокие содержания таллия в плагиоклазах отмечаются в грейзенизированных редкометалльных гранитах. По-видимому, как и в случае с рубидием, это можно объяснить их интенсивной серицитизацией. Из

## Бериллий в полевых

Генетический тип	Калиевые полевые							
	Микроклин, микроклин-пертит, ортоклаз				Ама			
	регион	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от
Гранитоиды нормальной щелочности (граниты, гранодиориты, диориты) Редкометалльные		53	Не обн.	11	2,5	—	—	—
		28	Не обн.	7	2	—	1	7
	СССР (Восточное Забайкалье)	24	Не обн.	5	1,7	—	—	—
	СССР (Восточное Забайкалье)	4	Не обн.	7	5	СССР (Восточное Забайкалье)	1	7
	СССР (Восточное Забайкалье)	20	0,6	11	3	—	—	—
негрейзенизированные или слабо грейзенизированные с оруденением пегматитового типа	СССР (Восточное Забайкалье)	5	1	3,5	2,4	—	—	—
	СССР (Прибайкалье, Забайкалье, Урал)	46	0,2	60	6	—	—	—
грейзенизированные с оруденением грейзенового типа и без оруденения	СССР (Восточная Сибирь)	28	0,2	6	1,3	—	—	—
	СССР (Кольский п-ов)	18	4	60	13	—	—	—
Нередкометалльные	Монгольский Алтай	7	0,8	4,7	2	—	—	—
	СССР (Тува)	6	1	32	9	—	—	—
Тип не известен	СССР (Забайкалье, Урал, Кольский п-ов, Украина)	6	1	32	9	—	—	—

калийевых полевых шпатов наибольшее количество таллия содержится в амезонитах и микроклинах редкометалльных пегматитов. При этом в замещенных пегматитах количество таллия в микроклинах почти в 10 раз превышает его максимальные содержания в амезонитах.

Таллий, как и рубидий, концентрируется в конечных продуктах дифференциации, особенно на послемагматической стадии. Это видно на примере сравнения средних содержаний таллия в калиевых полевых шпатах редкометалльных пегматитов, слабозамещенных и замещенных. В последних оно возрастает в 18 раз. В таком же соотношении находятся средние содержания таллия в микроклинах пегматитов и материнских гранитоидов. В первых оно выше в 10 раз (см. табл. 97). Правда, в этом случае резкое увеличение содержания таллия в пегматитах происходит в основном за счет его высоких концентраций в редкометалльном замещенном типе пегматитов.

Аналогичные закономерности в поведении таллия обнаруживаются внутри пегматитовых полей, где количество его в микроклинах увеличивается от простых (первичных) пегматитов к сложно дифференцированным с хорошо выраженной зональностью и процессами замещения. Так же ведет себя таллий в отдельных жилах зональных пегма-

## шпатах, г/т

шпаты		Плаггиоклаз				Полевые шпаты (плаггиоклаз + калиевые полевые шпаты)					
зонит		регион	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от	до	среднее
до	среднее										
—	—	—	43	2	50	15	—	9	6	20	12
7	7	—	22	3	42	19	—	7	6	20	13
—	—	СССР (Восточное Забайкалье)	17	10	29	15	СССР (Восточное Забайкалье)	4	6	17	10
7	7	СССР (Восточное Забайкалье)	4	28	42	34	СССР (Восточное Забайкалье)	3	14	20	17
—	—	СССР (Восточное Забайкалье)	18	2	21	7	—	—	—	—	—
—	—	СССР (Прибайкалье)	3	15	50	31	СССР (Забайкалье, Урал)	2	7	10	8
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	СССР (Тува)	7	0,4	8,8	4	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

титов, содержание которого возрастает в калиевых полевых шпатах от приконтактных частей к центру (Боровик-Романова, Соседко, 1960).

Ряд авторов в своих работах указывают на накопление таллия (одновременно с возрастанием калия) в эволюционном ряду: от наиболее ранних к поздним дифференциатам. Особенно подчеркивается тесная связь таллия с калием на магматическом этапе, поскольку в магматическом расплаве таллий одновалентен и наиболее сильно проявляет свои литофильные свойства (Таусон, Бузаев, 1957; Злобин, 1958; Воскресенская, 1959; Иванов, 1966). В то же время на собственно магматическом этапе не происходит такой концентрации таллия в калиевых полевых шпатах, как это бывает на более позднем этапе, в ходе процесса замещения (412 г/т). По данным табл. 97, содержание таллия в заведомо магматических калиевых полевых шпатах не превышает 23 г/т, а в основной своей массе составляет 3—5 г/т. Примерно такое же предельное содержание таллия (20 г/т) в собственно магматических минералах, в том числе в калиевых полевых шпатах, приводится в работе И. П. Новохатского и С. К. Калинина (1947).

Бериллий. С полевыми шпатами связана основная часть бериллия (60%), заключенного в породах. При этом наибольшее коли-

чество его сосредоточено в плагиоклазе, являющемся в большинстве случаев минералом-носителем бериллия.

Содержание в плагиоклазах, по сравнению с ассоциирующими с ними калиевыми полевыми шпатами, выше в 2—13 раз. Сравнение средних содержаний этого элемента в обоих минералах с кларком его для соответствующего типа пород свидетельствует о том, что плагиоклазы являются минералом-носителем и минералом-концентратором бериллия. К последним относятся также микроклин щелочных пород и амазониты.

Тесная связь бериллия с летучими определяет накопление его в остаточных магмах (Гольдшмидт, Петерс, 1938; Беус, 1959; Таусон и др., 1969). Подтверждением этого служат средние содержания бериллия в калиевых полевых шпатах редкометалльных гранитоидов (табл. 98) с оруденением пегматитового типа (1,7 г/т) и редкометалльных пегматитов (13 г/т). В последних количество бериллия возрастает в 8 раз. В случае когда исходная магма обеднена летучими компонентами, бериллий в большей степени рассеивается в минералах ранней магматической стадии, в результате чего содержание его в минералах наиболее поздних дифференциатов уменьшается вдвое (редкометалльные гранитоиды — 3 г/т, керамические и слюдяные пегматиты — 1,3 г/т).

Сравнение средних содержаний бериллия в калиевых полевых шпатах редкометалльных гранитоидов, слабогрейзенизированных с оруденением пегматитового типа (1,7 г/т) и грейзенизированных гранитоидов без бериллиеносных пегматитов (5 г/т) указывает на то, что степень рассеивания бериллия в породообразующих минералах материнских пород не способствует концентрации его в пегматитах. Об этом свидетельствует также и повышенное содержание бериллия в калиевых полевых шпатах щелочных пород (9 г/т), для пегматитов которых не характерна бериллиевая минерализация, и наоборот, относительно низкие содержания бериллия в калиевых полевых шпатах материнских гранитоидов, генетически связанных с бериллиеносными пегматитами (1,7 г/т). Отсутствие прямой обязательной зависимости между повышенным содержанием бериллия в породообразующих минералах магматических пород и наличием в связи с ними месторождений бериллия подчеркивается рядом исследователей (Гольдшмидт, Петерс, 1938; Беус, 1959).

Галлий. В группе полевых шпатов плагиоклазы характеризуются более высокими концентрациями галлия, чем калиевые полевые шпаты. Содержание галлия в плагиоклазе в 1,5—2 раза превышает его содержание в ассоциирующем с ним калиевом полевым шпате. В результате в подавляющем большинстве случаев плагиоклаз является минералом-носителем галлия. Исключение составляют щелочные породы с содержанием ортоклаза до 88%, где он становится минералом-носителем. С ортоклазом здесь связано до 60—80% валового содержания галлия в породе (Борисенюк, Злобин, 1959).

Содержание галлия в плагиоклазах увеличивается в ряду: ультраосновные, основные, средние породы (16 г/т) — гранитоиды (29 г/т) — гранитные пегматиты (32 г/т) — щелочные породы (63 г/т). Наибольшее количество его содержится в плагиоклазе щелочных пород и замещенных редкометалльных пегматитов, где он представлен исключительно альбитом (табл. 99). В ряде работ указывается на максимальное содержание галлия в альбитах. Наблюдается прямая зависимость содержаний галлия в гранитоидах от степени их альбитизации. Последняя выдвигается как фактор привноса галлия. В интенсивно альбитизированных породах альбит становится минералом-носителем и одновременно минералом-концентратором галлия (Нокколдс, Митчелл, 1952; Ситнин, 1960; Ганеев, Сечина, 1962; Марченко, Щербаков, 1966). В пегматитах минимальное содержание

галлия отмечается в керамических и слюдоносных разностях (14 г/т). Оно почти соответствует содержанию его в основных и средних породах и близко к содержанию галлия в плагиоклазах пород гнейсовой серии. В плагиоклазах редкометальных пегматитов количество галлия возрастает в 5 раз. В калиевых полевых шпатах гранитоидов и гранитных пегматитов содержания галлия не очень сильно разнятся.

Барий и стронций. Полевые шпаты и мусковит являются минералами-носителями и минералами-концентраторами бария и стронция. В плагиоклазах они изовалентно замещают кальций, в калиевых полевых шпатах — калий и частично кальций.

Величины коэффициентов концентрации бария и стронция в калиевых полевых шпатах и плагиоклазах (см. табл. 93) подтверждают существующее мнение о том, что в подавляющем большинстве случаев эти минералы являются концентраторами бария и стронция. Содержание этих элементов уменьшаются к конечным стадиям процесса дифференциации. Это видно из сравнения средних содержаний обоих элементов в полевых шпатах гранитоидов и генетически связанных с ними пегматитов. В последних количество бария и стронция уменьшается в 3—4 раза (см. табл. 99). Точно так же в полевых шпатах основной массы пород содержится в 2—4 раза меньше, чем во вкрапленниках (Антипин и др., 1969). Аналогично поведение бария и стронция при переходе от магматической стадии формирования пород к послемагматической (Брей, 1952; Шимер, 1952; Heier, Taylor, 1959; Магаровский, Мельниченко, 1967; Шмакин, Костюкова, 1969). В этом случае барий и стронций ведут себя прямо противоположно рубидию и цезию.

Из сравнения содержаний бария и стронция в полевых шпатах можно сказать, что в плагиоклазах стронций преобладает над барием, в то время как в калиевых полевых шпатах соотношение элементов обратное (см. табл. 99). На это указывают в своей работе Б. М. Шмакин и Е. С. Костюкова (1969).

В калиевых полевых шпатах наблюдаются наибольшие колебания в содержаниях бария и стронция. Так, предельные содержания бария разнятся в 5—300 раз, стронция — в 1,5—500 раз. При этом максимальных значений колебания достигают в гранитоидах и гранитных пегматитах. По-видимому, это связано с присутствием в них разнотемпературных генераций калиевого полевого шпата с различной степенью упорядоченности в отличие от эффузивных пород и продуктов регионального метаморфизма, в которых колебания содержаний бария и стронция наименьшие. Максимальными содержаниями бария и стронция обладают калиевые полевые шпаты щелочных и эффузивных пород. Это должно быть связано с присутствием в них наименее упорядоченных разностей калиевых полевых шпатов.

Наряду с вышеописанными, существует группа бариевых полевых шпатов, где содержание бария изменяется в пределах от 29 900 до 370 900 г/т. В большинстве случаев это цельзиан или бариевый плагиоклаз в составе метаморфизованных осадочных отложений, реже — калиевые полевые шпаты — бариевые одуляр и санидин. При этом максимальными содержаниями бария характеризуются цельзианы (Дир, Хауи, Зусман, 1966).

Редкие земли. Процент редких земель, связанных с лейкократовой частью пород, в том числе с полевыми шпатами, незначителен. Форма их вхождения твердо не установлена. В ряде случаев большое сходство состава редких земель, выделенных из кварц-полевошпатовой фракции, и состава их в собственно редкоземельных ассоциирующих минералах позволяет предположить, что известная доля редких земель в полевых шпатах может быть обусловлена присутствием в них микровключений редкоземельных минералов. Но при этом не отрицается возможность изоморфного вхождения редких земель в решетки плагио-

Галлий, барий и стронций в полевых шпатах, г/т

Генетический тип	Калиевые полевые шпаты (микроклин, микроклинпертит, ортоклаз)				Плагиоклаз				Полевые шпаты (плагиоклаз+калиевые полевые шпаты)						
	регион	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от	до	среднее
Галлий															
Гранитоиды нормальной щелочности (граниты, гранодиориты, диориты)	Великобритания (Зап. Шотландия), СССР (Восточное Забайкалье, Кольский п-ов, Кавказ, Кузнецкий Алатау, Киргизия, Юго-Восточная Тува, Енисейский край, Средняя Азия, Казахстан, Приазовье)	40	10	80	25	СССР (Восточное Забайкалье, Казахстан, Кольский п-ов, Кавказ, Кузнецкий Алатау, Киргизия, Тува, Средняя Азия, Приазовье), Великобритания (Зап. Шотландия)	33	19	100	42	Новая Англия, СССР (Средняя Азия, Приазовье)	27	15	60	35
Пегматиты, связанные с гранитоидами нормальной щелочности		24	3	90	32		13	9	90	32	—	—	—	—	—
Керамические и слюдяные	СССР (Карелия)	6	3	12	8	СССР (Карелия)	8	12	16	14	—	—	—	—	—
Редкометалльные слабозамещенные	СССР (Казахстан)	14	3	66	37	СССР (Казахстан)	3	63	80	69	—	—	—	—	—
замещенные	СССР (Саяны)	13	3	66	37	СССР (Саяны)	2	65	80	72	—	—	—	—	—
Тип не известен	Норвегия	1	38	38	38	Норвегия, Тироль	1	63	63	63	Новая Англия	21	20	110	49
Щелочные породы и связанные с ними пегматиты	Норвегия, США (штат Арканзас), СССР (Кольский п-ов, Енисейский край, Киргизия, Приазовье, Средняя Азия)	25	1	90	39	СССР (Енисейский край, Кольский п-ов, Приазовье)	11	10	115	63	—	—	—	—	—
Средние, основные, ультраосновные породы	—	—	—	—	—	Великобритания (Зап. Шотландия), Норвегия, СССР (Кольский п-ов, Кавказ)	7	5	25	16	—	—	—	—	—
Продукты регионального метаморфизма и метасоматоза	СССР (Восточная Сибирь)	6	15	30	23	СССР (Восточная Сибирь)	3	18	24	21	—	—	—	—	—
Барий															
Гранитоиды нормальной щелочности (граниты, гранодиориты, диориты)	Северная Норвегия, Великобритания (Зап. Шотландия), США (штат Колорадо), СССР (Восточное Забайкалье, Алдан)	103	50	17 000	4169	США (штат Калифорния, Колорадо), Великобритания (Зап. Шотландия), СССР (Восточное Забайкалье)	28	40	1500	500	Новая Англия	21	100	3000	1343
Пегматиты, связанные с гранитоидами нормальной щелочности		71	50	12 800	1501	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Керамические и слюдяные	СССР (Мамский район, Восточный Саян, Прибайкалье)	24	65	12 800	3418	СССР (Мамский район, Восточный Саян, Прибайкалье)	22	2	342	70	—	—	—	—	—
Тип не известен	Северная Норвегия, США (штаты Колорадо, Дакота), Швеция, СССР (Урал)	47	50	1700	521	—	—	—	—	—	Новая Англия	21	10	2500	485

Генетический тип	Калиевые полевые шпаты (микроклин, микроклин-пертит, ортоклаз)				Плагиоклаз				Полевые шпаты (плагиоклаз+калиевые полевые шпаты)						
	регион	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от	до	среднее
Щелочные породы	Бирма, Северная Норвегия, США (штат Арканзас), СССР (Кавказ, Кольский п-ов, Алдан)	15	400	22 200	6895	Северная Норвегия	1	2000	2000	2000	СССР (Приазовье)	2	3000	3000	3000
Средние, основные и ультраосновные породы	—	—	—	—	—	Гренландия, США (штаты Нью-Йорк, Висконсин, Северная Каролина, Миннесота, Пенсильвания, Оклахома), Великобритания (Зап. Шотландия)	9	100	1500	401	—	—	—	—	—
Эффузивные породы	Югославия, США (штат Калифорния), Словакия, Франция, Нигерия, Монголия	11	979	13 884	5761	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Продукты регионального метаморфизма и метасоматоза	Индия (Мадрас), США (Нью-Гэмпшир), Северная Норвегия	17	1300	7000	3734	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

## Стронций

Гранитоиды нормальной щелочности (граниты, гранодиориты, диориты)	Северная Норвегия, США (штат Колорадо), Великобритания (Зап. Шотландия), СССР (Восточное Забайкалье, Алдан, Урал)	125	10	5300	894	США (штаты Калифорния, Колорадо), Великобритания (Зап. Шотландия), СССР (Восточное Забайкалье)	25	410	3000	1335	СССР (Таджикистан), Новая Англия	30	10	1200	475
Пегматиты, связанные с гранитоидами нормальной щелочности	СССР (Мамский район, Восточный Саян, Прибайкалье)	76	7	1344	205	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Керамические и слюдоносные	СССР (Мамский район, Восточный Саян, Прибайкалье)	25	7	720	220	СССР (Мамский район, Восточный Саян, Прибайкалье)	22	13	492	209	—	—	—	—	—
Тип не известен	Северная Норвегия, США (штат Колорадо)	51	20	1344	197	—	—	—	—	Новая Англия	21	3	980	191	
Щелочные породы	СССР (Алдан), Северная Норвегия, США (штат Арканзас)	10	80	5000	2379	Северная Норвегия	1	3100	3100	3100	СССР (Приазовье)	2	250	830	540
Средние, основные, ультраосновные породы	—	—	—	—	—	Гренландия, США (штаты Нью-Йорк, Висконсин, Северная Каролина, Миннесота, Пенсильвания, Оклахома), Великобритания (Зап. Шотландия)	17	800	4100	2041	—	—	—	—	—
Эффузивные породы	Сиам, Словакия, Монголия	3	2100	3192	2576	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Продукты регионального метаморфизма и метасоматоза	Северная Норвегия	9	150	337	246	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

клавов и калиевых полевых шпатов (Гаврилова, Туранская, 1958).

Содержание редких земель в калиевых полевых шпатах щелочных гранитоидов в 3 раза выше, чем в полевых шпатах гранитоидов нормальной щелочности (табл. 100). Это согласуется с существующим мнением об общности поведения редких земель и щелочей и обогащении редкими землями щелочных остаточных расплавов (Тугаринов, Вайнштейн, 1959).

Уран и торий. С кварц-полевошпатовой частью пород связано около 40—60% урана и около 15—30% тория от валового содержания этих элементов в породе (Таусон, 1956, Леонова, 1962).

По данным многих исследователей, уран и торий присутствуют в полевых шпатах в неизоморфной форме. Об этом свидетельствуют результаты опытов по извлечению урана и тория из калиевых полевых шпатов и плагиоклазов специфическими растворителями без разрушения кристаллической структуры этих минералов. Подобные эксперименты показали, что уран и торий полностью выщелачиваются из полевых шпатов. Это свидетельствует о присутствии обоих элементов в виде легкорастворимых соединений, т. е. в неизоморфной форме. Как предполагают, это либо субмикроскопические включения аксессуарных или собственно урановых и ториевых минералов, либо это молекулярно-рассеянный уран и торий (Таусон, 1956; Леонова, Таусон, 1958; Леонова, 1962).

Большинство исследователей придерживаются мнения, что уран накапливается в кислых породах. Л. Л. Леонова и Л. В. Таусон считают, что обогащаются ураном только те кислые породы, которые являются самыми поздними дифференциатами единого магматического очага (Леонова, Таусон, 1958). Данные по содержаниям урана в плагиоклазах (см. табл. 100) свидетельствуют о его заметном возрастании и в генетически не связанной серии пород. В ряду ультраосновные, основные, средние породы — гранитоиды — пегматиты содержания урана в плагиоклазах увеличиваются соответственно в 3 и 4 раза.

Бор. Связан главным образом с полевыми шпатами (до 96% от валового его содержания в породе). Основным минералом-носителем его является плагиоклаз. Наравне с эпидотом, его можно считать и минералом-концентратором бора (Ставров, Хитров, 1960; Лисицин, Хитров, 1962). Последнее подтверждается также коэффициентами концентрации бора в плагиоклазах (см. табл. 93). В отношении плагиоклаза доказана изоморфная форма вхождения бора в его структуру (Барсуков, 1958).

Содержание бора в плагиоклазах в 8 раз выше, чем в ассоциирующих с ними калиевых полевых шпатах. Судя по литературным данным, содержание его в самих плагиоклазах увеличивается одновременно с возрастанием в них анортитовой составляющей (Лисицин, Хитров, 1962), чего нельзя сказать по результатам табл. 100, поскольку здесь приведена средняя цифра содержаний бора в плагиоклазах без учета их основности. Выделяются только плагиоклазы гранитоидов повышенной щелочности. Они представлены альбитом и характеризуются минимальными содержаниями бора.

Молибден. Больше половины молибдена в гранитоидах связано с полевыми шпатами (~80%), которые являются минералами-носителями этого элемента. Предполагается, что молибден в полевых шпатах замещает  $Al^{3+}$  и возможно Si. Первый вариант с точки зрения размеров ионных радиусов более благоприятен и, очевидно, является преобладающим. Но изоморфное вхождение молибдена в полевые шпаты ограничено. Опыты по дифференциальному извлечению молибдена показывают, что значительная его часть в порообразующих минералах присутствует в виде микровключений, или в сульфидной форме,

## Редкие земли, уран, торий, бор, молибден, олово, свинец в полевых шпатах, г/т

Генетический тип	Калиевые полевые шпаты (микроклин, микроклин-пертит, ортоклаз)					Плагиоклаз					Полевые шпаты (плагиноклаз+калиевые полевые шпаты)				
	регион	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от	до	среднее
Редкие земли															
Гранитоиды нормальной щелочности (граниты, гранодиориты, диориты)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	СССР (Украина)	2	100	100	100
Гранитоиды повышенной щелочности и щелочные	СССР (Сибирь)	4	170	500	295	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Уран															
Гранитоиды нормальной щелочности (граниты, гранодиориты, диориты)	СССР (Алтай)	2	8	10	9	СССР (Алтай)	2	10	10	10	СССР (Киргизия)	6	0,2	1	0,6
Пегматиты, связанные с гранитоидами нормальной щелочности (тип не известен)	СССР (Тянь-Шань)	2	0,5	3,5	2	СССР (Тянь-Шань)	2	1,5	70	36	—	—	—	—	—
Щелочные породы	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	СССР (Забайкалье)	3	2	3	2,6
Средние, основные, ультраосновные породы	—	—	—	—	—	СССР (Горная Шория)	5	0,1	0,6	0,3	—	—	—	—	—
Торий															
Гранитоиды нормальной щелочности (граниты, гранодиориты, диориты)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	СССР (Киргизия, Казахстан)	7	0,8	6,2	4,2
Щелочные породы	СССР (Кольский п-ов)	2	7	7,3	7,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Генетический тип	Калиевые полевые шпаты (микроклин, микроклин-пертит, ортоклаз)				Плагиоклаз				Полевые шпаты (плагиоклаз+калевые полевые шпаты)						
	регион	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от	до	среднее	регион	количество анализов	от	до	среднее
Бор															
Гранитоиды нормальной щелочности (граниты, гранодиориты, диориты)	СССР (Прибайкалье)	4	7	11	9	СССР (Прибайкалье)	3	50	95	76	СССР (Восточный Саян)	1	16	16	16
Гранитоиды повышенной щелочности и щелочные	—	—	—	—	—	СССР (Урал)	2	21	33	27	—	—	—	—	—
Средние, основные, ультраосновные породы	—	—	—	—	—	СССР (Урал)	5	51	120	76	—	—	—	—	—
Эффузивы	СССР (Средняя Азия)	1	7	7	7	СССР (Средняя Азия, Урал)	11	20	120	60	—	—	—	—	—

## Молибден

Гранитоиды нормальной щелочности (граниты, гранодиориты, диориты)	США (штат Миннесота)	2	0,4	0,9	0,6	США (штат Миннесота)	2	0,3	2,5	1,4	США (штаты Нью-Гэмпшир, Миннесота), СССР (Центральный Тянь-Шань, Кавказ)	9	1,2	22,5	4,4
Пегматиты, связанные с гранитоидами нормальной щелочности	США (штат Виргиния)	1	0,2	0,2	0,2	—	—	—	—	—	США (штат Миннесота)	3	0,1	0,4	0,2

## Олово

Гранитоиды нормальной щелочности (граниты, гранодиориты, диориты)	СССР (Восточное Забайкалье, Восточная Сибирь)	8	1	2,5	1,3	СССР (Восточное Забайкалье, Восточная Сибирь)	8	1	2,3	1,7	—	—	—	—	—
Пегматиты редкометалльные, связанные с гранитоидами нормальной щелочности	СССР (Восточное Забайкалье)	2	40	180	110	СССР (Восточное Забайкалье)	1	28	28	28	—	—	—	—	—

## Свинец

Гранитоиды нормальной щелочности (гранит, гранодиорит, диорит)	СССР (Восточное Забайкалье, Алдан), Великобритания (Зап. Шотландия), Северная Норвегия	127	6	100	36	Великобритания (Зап. Шотландия)	10	10	15	10	СССР (Киргизия, Восточное Забайкалье)	6	15	40	25
Пегматиты, связанные с гранитоидами нормальной щелочности	—	66	1	280	39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Редкометалльные слабозамещенные	СССР (Казахстан)	19	1	41	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Тип не известен	Северная Норвегия, СССР (Восточное Забайкалье)	47	2	280	52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Щелочные породы	СССР (Киргизия)	1	50	50	50	СССР (Киргизия)	1	50	50	50	—	—	—	—	—
Продукты регионального метаморфизма и метасоматоза	Северная Норвегия	12	1	38	17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

или в виде молибдатов (Студеникова, Глинкина, Павленко, 1957; Таусон, Студеникова, 1959).

Содержание молибдена в плагиоклазах (1,4 г/т) более чем в 2 раза превышает его содержание в ассоциирующих калиевых полевых шпатах (0,6 г/т). В последних молибден содержится в большем количестве в гранитоидах, чем в связанных с ними пегматитах. В таком же соотношении Мо находится в полевых шпатах (см. табл. 100).

Олово. Содержания олова в полевых шпатах пегматитов значительно выше, чем в материнских гранитоидах: в плагиоклазах — в 17 раз, в калиевых полевых шпатах — в 80 раз (см. табл. 100). Подобные соотношения обусловлены главным образом высокими содержаниями олова в альбитизированном микроклине, образующемся одновременно с касситеритом. Микроклин, более ранний по отношению к касситеритовой минерализации, содержит в 4,5 раза меньше олова. Примерно в таком же количестве присутствует олово в альбите, кристаллизовавшемся позднее касситерита, но по сравнению с плагиоклазами гранитоидов это значительно выше. Основной причиной различия содержаний олова в полевых шпатах является изменение кислотности — щелочности среды минералообразования, т. е. олово, являясь типично амфотерным элементом, легко выпадает в осадок и переходит обратно в раствор при малейшем изменении рН среды (Пополитов, 1964).

Учитывая принадлежность микроклина и альбита с максимальными содержаниями олова к оловоносным пегматитам и одновременное выделение их с оловянной минерализацией, можно предположить, что в обоих минералах этой стадии, особенно в микроклине, присутствуют микровключения минералов олова.

Свинец. Кристаллохимически  $Pb^{2+}$  связан с  $K^{1+}$  ввиду близости ионных радиусов. С одной стороны, это обуславливает изоморфное вхождение  $Pb^{2+}$  в калиевые минералы. С другой, в результате существенных различий в строении их атомов, а также различного структурного положения калия устанавливаются пределы изоморфного вхождения свинца в те или иные калиевые минералы.

Основная масса свинца сконцентрирована в калиевых полевых шпатах, но и в них изоморфное замещение калия свинцом ограничено из-за значительного различия электроотрицательности этих элементов и характера связи их с кислородом. Это подтверждается опытами по дифференциальному выщелачиванию свинца из калиевых полевых шпатов с помощью слабых растворителей, не вызывающих разрушения «минерала-хозяина». Из калиевого полевого шпата легко извлекается от 10 до 20% Pb. Это свидетельствует о том, что в таком количестве свинец присутствует в нем в неизоморфной форме (Таусон, Кравченко, 1956; Таусон, Студеникова, 1959; Злобин, Горшкова, 1961).

Содержание свинца в плагиоклазах либо примерно одного порядка с содержанием его в калиевых полевых шпатах, либо меньше в 1,5—3,5 раза (см. табл. 100). Изоморфное вхождение свинца в плагиоклазы еще более затруднено, чем в калиевые полевые шпаты. Опыты по дифференциальному выщелачиванию показали, что в плагиоклазах свинец находится полностью в неизоморфной форме, предположительно в виде галенита или самородного свинца (Goldschmidt, 1954; Таусон, Кравченко, 1956; Таусон, Студеникова, 1959).

Сравнение содержаний свинца в калиевых полевых шпатах различных типов пород показывает, что наибольшими значениями характеризуются гранитоиды и щелочные породы, наименьшими — калиевые полевые шпаты редкометалльных пегматитов. Ряд исследователей на основе изучения конкретных геологических объектов приходят к выводу, что обогащенные свинцом калиевые полевые шпаты принадлежат глубинным фациям пород, в то время как в апикальных частях интрузив-

зий и в продуктах послемагматического метасоматоза они резко обеднены свинцом. Объясняется это, с одной стороны, низкой летучестью свинца, с другой, проявлением различных свойств свинца в зависимости от условий температур и давлений. При повышенных значениях давления и температуры Pb ведет себя как литофильный элемент. В условиях пониженных температур проявляются его халькофильные свойства (Козлов, Клепикова, Свадковская, 1965).

Имеются единичные данные о содержании никеля, титана, ванадия, цинка, мышьяка и некоторых других элементов в полевых шпатах. В полевых шпатах гранитоидов никель содержится в среднем 9,5 г/т. В. И. Серых (1964) приходит к выводу о том, что по мере увеличения количества полевых шпатов в породе роль их в балансе никеля увеличивается. Если в средних породах минералами-носителями, равно как и минералами-концентраторами никеля, являются роговые обманки и биотиты, то в умеренно кислых породах полевые шпаты в равной степени с темноцветными становятся минералами-носителями никеля. Что же касается кислых пород, то в них основная часть никеля связана с полевыми шпатами. Форма нахождения никеля пока не ясна.

Среднее содержание цинка в полевых шпатах гранитоидов составляет 15 г/т (Таусон, Кравченко, 1956), а пределы содержаний спутников цинка следующие (г/т): Cd 0,15 (в плагиоклазе), In 0,003—0,3, Ge 1—12 (Иванов, 1956).

Единичные данные имеются по содержанию ванадия в калиевых полевых шпатах щелочных пород. Максимальные содержания его (90—100 г/т) отмечаются в ортоклазах нефелиновых сиенитов и микроклинах из пегматитов. В жильных разностях щелочных пород ванадия в калиевых полевых шпатах содержится 10—60 г/т (Erickson, Blade, 1963). В этой же работе приведены данные по содержанию хрома от 1 до 10 г/т в калиевых полевых шпатах щелочных пород.

Мышьяк, по данным Х. Ониси и Э. Б. Санделла (1959), преимущественно не связан с каким-нибудь одним из петрогенных элементов в минералах. В этом смысле он проявляет сходство с молибденом. В полевых шпатах мышьяк может замещать  $Si^{4+}$  (0,43 Å), особенно это касается  $As^{5+}$  (0,46 Å). Вместе с тем, возможно также замещение мышьяком  $Al^{3+}$  (0,51 Å). Данные по содержанию мышьяка в полевых шпатах, приводимые в указанной работе, несколько противоречивы. Так, среднее содержание мышьяка для полевых шпатов в целом равно 0,7 г/т (0,7 — в пегматитах; 0,7 — в гранитах; 0,8 — в тоналитах). В то же время содержания мышьяка в калиевых полевых шпатах и плагиоклазах в большинстве случаев более высокие. В плагиоклазах среднее содержание мышьяка составляет 1,4 г/т (1,4 — в гранитах; 0,8 — в монцонитах; 2,1 и 1,1 — в габбро). Для калиевых полевых шпатов, в том числе и амазонита, приводится среднее из трех результатов — 1,2 г/т (1,7 — калиевые полевые шпаты в гранитах; 0,8 — калиевые полевые шпаты в монцонитах; 1,2 — амазониты). Возможно, что часть мышьяка, аналогично молибдену, в полевых шпатах находится в неизоморфной форме — в виде микровключений. Присутствие последних в полевых шпатах может давать в ряде случаев завышенные содержания мышьяка.

Таким образом, анализ содержаний редких элементов в полевых шпатах из пород различных генетических типов показал, что наибольший интерес представляет собой группа элементов-примесей, которые изоморфно входят в структуру полевых шпатов, ввиду близости кристаллохимических свойств к K, Na, Si, Al. К ним относятся Rb, Cs, Tl, Be, Ba, Sr, Ga, В. Основными выводами, касающимися закономерностей изменения их содержаний в полевых шпатах, являются следующие:

1. Полевые шпаты в большинстве случаев представляют собой минералы-носители перечисленных элементов. Некоторые из них (микроклин, амазонит для Rb, Cs, Tl, Be и плагиоклаз для Be) становятся минералами-концентраторами лишь в метасоматически измененных гранитах и редкометальных пегматитах. Повышенными содержаниями рубидия и цезия характеризуются микроклины щелочных гранитов, щелочных пород и их пегматитов. Для бария и стронция полевые шпаты во всех рассмотренных типах пород одновременно являются и минералами-носителями, и минералами-концентраторами.

2. Сравнение содержаний элементов-примесей в сосуществующих плагиоклазах и калиевых полевых шпатах показывает, что последние характеризуются более высокими концентрациями Rb, Cs, Tl, Ba. Плагиоклазы содержат большие количества Be, Sr, Ga, V.

3. Содержание бериллия в плагиоклазах метасоматически слабоизмененных и неизмененных редкометальных гранитов с оруденением пегматитового типа в два раза больше, чем в нередкометальных гранитоидах. Коэффициенты концентрации бериллия в плагиоклазах составляют соответственно 3,1 и 1,3. Это несомненно свидетельствует о геохимической специализации. При этом следует подчеркнуть, что последняя устанавливается только при анализе содержания бериллия в его минерале-концентраторе и не устанавливается по валовому его содержанию в гранитах. Так, например, А. А. Беус (1959) на основании изучения распределения бериллия в гранитах ряда бериллиеносных пегматитовых полей приходит к выводу, что для гранитов с повышенными содержаниями бериллия образование бериллиеносных пегматитов не характерно. В последнее время появляется все больше данных, свидетельствующих о том, что потенциальная рудоносность при наличии прочих благоприятных условий определяется не общим содержанием рудных элементов в гранитах, а содержанием их в минералах-концентраторах (Козлов, 1969; Потапьев и др., 1967; Таусон, 1967; Апельцин и др., 1970).

В то же время одинаково высокие концентрации бериллия в плагиоклазах грейзенизированных гранитов с оруденением грейзенового типа и без оруденения свидетельствует о том, что не всегда геохимическая специализация переходит в металлогеническую. Для этого необходим целый ряд факторов, которые подробно рассмотрены в ряде работ, посвященных критериям потенциальной рудоносности гранитоидов (Апельцин и др., 1970; Ляхович, Овчинников, 1970; Говоров и др., 1970; Аношин и др., 1970). Аналогично бериллию геохимическая специализация проявлена и в отношении лития. В микроклинах метасоматически неизмененных и слабоизмененных редкометальных гранитов содержание его в десять раз больше, чем в нередкометальных гранитах. Следует оговориться, что повышенные концентрации лития в полевых шпатах связаны либо с присутствием микровключений литиевых минералов, либо со вторичными изменениями. Коэффициент концентрации и средние содержания рубидия в микроклинах тех и других гранитоидов примерно одинаковы.

4. Содержания Cs, Tl, Rb увеличиваются в процессе магматической дифференциации и на послемагматической стадии тем больше, чем больше их ионный радиус. Особенно четко это видно на примере калиевых полевых шпатов, которые в данном случае являются и минералами-носителями, и минералами-концентраторами. Коэффициент концентрации может быть использован не только в петрогенетических целях для установления, в частности, стадийности формирования тех или иных пород. Его можно использовать и в чисто практических целях, поскольку, наряду с прочими признаками, он позволяет выявлять, например, среди пегматитов наиболее интересные в отношении редкометальной минерализации типы. Сравнение средних содержаний Tl, Li,

Cs, Pb в микроклинах из слабозамещенных и замещенных редкоземельных пегматитов показывает, что в последних они увеличиваются соответственно в 18, 30, 8 и 4 раза.

5. Барий и стронций ведут себя прямо противоположно редким щелочам. Содержания их в полевых шпатах уменьшаются к конечным этапам магматической эволюции, включая и послемагматическую стадию. Изменяется и отношение этих элементов, что связано с предпочтительным замещением калия стронцием при понижении температуры.

## МУСКОВИТ

Мусковит — весьма распространенный вид слюды. Нередко он является главной составной частью некоторых интрузивных пород (гранитов, грейзенов), часто встречается в пегматитах, связанных с гранитами и гранодиоритами, и широко распространен в метаморфических породах (в кристаллических сланцах и ослюденелых гнейсах). В основе кристаллического строения мусковита лежит последовательное чередование слоев — структура мусковита имеет трехслойную моноклинную ячейку.

Для мусковита известны следующие основные изоморфные замещения: 1) К замещается Na, Rb, Cs, Ca, Ba; 2) Al замещается Mg, Fe (2- и 3-валентным), Mn, Li, Cr, Ti, V; 3) гидроксильная группа может замещаться фтором (Дир, Хауи, Зусман, 1966). В результате различных замещений образуются разновидности мусковита (фенгит, фуксит, литиевый мусковит, гидромусковит). Некоторые замещения приводят к изменению химического состава и структуры мусковита и образованию самостоятельных минеральных видов (парагонит, лепидолит).

При подсчете средних содержаний элементов-примесей в мусковите были использованы многочисленные литературные данные: Шмакин, 1965; Шмакин, Кирилов, Рыбакова, 1964; Шмакин, Макрыгина, 1969; Гордиенко, 1970; Гордиенко, Денисов, 1964; Глебов и др., 1968; Солодов, 1958, 1960, 1962; Солодов, Фабрикова, Солодова, 1968; Слепнев, 1959, 1961, 1964; Слепнев, Мелентьев, 1962; Онтеев, Здобнова, Дудыкина, 1968; Боровик-Романова, Соседко, 1957; Боровик-Романова, Соседко, Савинова, 1958, 1960; Ситнин, 1966; Ситнин, Разина, 1963; Соболев, Ситнин, Дорохов, 1968; Соболев, Ситнин, 1970; Одикадзе, 1958, 1963, 1967; Ляхович, 1963, 1970; Рудовская, 1964; Сафронова, 1966; Беус, 1959, 1966; Беус и др., 1968; Бугаец, 1968; Агапова, 1961; Новохатский, Калинин, 1947; Новохатский, Калинин, Замостина, 1968; Иванов, 1961, 1963, 1964; Залашкова, Сырица, 1969; Кузьменко, 1961; Кузьменко, Акелин, 1965; Мануйлова и др., 1966; Бровчук, Недашковский, Овчарек, 1969; Абисалов, Бровчук, Недашковский, 1969; Белякина и др., 1958; Сиротин, 1969; Коваль, Юрченко, Николаева, 1970; Арнс, 1952; Арнс, Либенберг, 1952; Дир, Хауп, Зусман, 1966; Хардер, 1965 и др. Кроме того, учтены материалы, предоставленные нам сотрудниками института: Д. А. Минеевым, И. К. Пятенко, Л. И. Агаповой, К. И. Розановым, Ю. Н. Спомиором, С. М. Бескиным.

Наибольшее количество анализов имеется на редкие щелочные элементы.

Литий. При сравнении полученных средних содержаний лития для мусковита из пород различного генетического типа (табл. 101) обнаруживается, что максимальное содержание (977 г/т) падает на гранитоиды, а минимальное (101 г/т) — на ослюденелые, мусковитизированные гнейсы и мусковитизированные мусковит-серицитовые сланцы (233 г/т).

Среди гранитоидов содержание лития в мусковите изменяется от 275 г/т в измененных биотитовых гранитах до 2189 г/т в альбитизиро-

Содержание в мусковите лития, рубидия, цезия, таллия и галлия, г/т

Генетический тип	Регион	Li				Rb				Cs				Tl				Ga			
		количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее
Гранитоиды Адамеллит	Казахстан	100	5	6348	977	99	400	8300	1987	85	Следы	564	109	3	6	40	23	7	29	280	166
		1	—	—	34	1	—	—	200	1	—	—	8	—	—	—	—	1	—	—	29
Аплит Биотитовый (измененный) гранит	Шотландия	1	—	—	34	1	—	—	200	1	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	—
	Урал	2	—	—	—	2	—	—	1140	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	29
Мусковитовый гранит	Казахстан	2	260	290	275	2	680	800	740	2	5	20	12	—	—	—	—	—	—	—	—
	Казахстан	14	230	4500	1164	12	1480	6100	2041	12	50	400	167	—	—	—	—	—	—	—	—
Двуслюдяной »	Горный Алтай	1	—	—	850	1	—	—	1650	1	—	—	117	—	—	—	—	—	—	—	—
	Забайкалье	4	680	1830	1165	4	1700	2030	1830	4	130	234	177	—	—	—	—	—	—	—	—
Грейзенизированный гранит	Казахстан	9	230	4500	1476	7	1480	6100	2643	7	50	400	206	—	—	—	—	—	—	—	—
	Забайкалье	22	173	4500	1168	20	520	8300	1614	19	5	400	87	—	—	—	—	—	—	—	—
Альбитизированный »	Казахстан	4	173	480	275	4	520	658	574	3	5	6	6	—	—	—	—	—	—	—	—
	Средняя Азия	2	540	1250	895	2	900	1500	1200	2	34	52	43	—	—	—	—	—	—	—	—
Альбитизированный и грейзенизированный гранит с редкометальной минерализацией (апогранит)	Горный Алтай	4	570	1100	1037	4	1040	1390	1217	4	50	110	73	—	—	—	—	—	—	—	—
	Забайкалье	8	1400	4500	2787	6	1970	8300	3530	6	40	400	175	—	—	—	—	—	—	—	—
Альбитит, кварцевый альбитит	Якутия	4	580	1200	845	4	1200	2000	1550	4	80	200	137	—	—	—	—	—	—	—	—
	Казахстан	3	400	1100	840	3	1600	1850	1750	3	5	250	138	—	—	—	—	—	—	—	—
Альбитизированный »	Горный Алтай	1	—	—	1100	1	—	—	1850	1	—	—	150	—	—	—	—	—	—	—	—
	Забайкалье	2	400	760	580	2	1600	1700	1650	2	5	250	127	—	—	—	—	—	—	—	—
Альбитизированный и грейзенизированный гранит с редкометальной минерализацией (апогранит)	Кавказ	3	5	40	22	3	520	2300	1410	1	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	—
	Кавказ	2	—	—	5	2	—	—	520	1	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	—
Альбитизированный и грейзенизированный гранит с редкометальной минерализацией (апогранит)	Казахстан	1	—	—	40	1	—	—	2300	1	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	—
	Приазовье	38	497	6348	2189	38	546	8190	4274	33	Следы	564	218	—	—	—	—	5	210	280	250
Альбитит, кварцевый альбитит	Забайкалье	2	—	—	3000	2	—	—	5000	—	—	—	—	—	—	—	—	5	210	280	250
	Забайкалье	36	497	6348	2338	36	546	8190	4575	33	Следы	564	227	—	—	—	—	—	—	—	—
Альбитит, кварцевый альбитит	Забайкалье	3	1170	4420	2660	3	4920	7680	6750	3	200	420	323	1	—	—	40	1	—	—	220

Аляскит	Казахстан	1	—	—	760	1	—	—	770	1	—	—	105	—	—	—	—	—	—	—	—
		11	130	5600	1235	14	400	5220	1168	10	10	350	130	2	6	7	6	—	—	—	—
Гранит неизвестного состава	Урал	2	—	—	130	2	—	—	730	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Тянь-Шань	1	—	—	—	1	—	—	620	1	—	—	10	—	—	—	—	—	—	—	—
Грейзены	Забайкалье	9	600	5600	2340	9	1400	5220	2900	9	50	350	250	—	—	—	—	—	—	—	—
	Африка	—	—	—	—	2	400	446	423	—	—	—	—	2	6	7	6	—	—	—	—
Грейзены	Мусковитовый и слюдяной	47	10	2530	562	43	120	4730	2077	39	0	376	45	15	3	27	10	23	20	700	173
		17	70	2530	823	14	1220	4730	2369	14	0	376	76	—	—	—	—	—	—	—	—
Кварц-мусковитовый и кварц-слюдяной	Казахстан	8	450	900	673	8	1990	3200	2388	8	28	47	38	—	—	—	—	—	—	—	—
	Забайкалье	6	70	2530	845	6	1220	4730	2350	6	0	376	114	—	—	—	—	—	—	—	—
Грейзены неизвестного состава	Дальний Восток	3	740	1150	952	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Казахстан	17	151	1890	505	17	1640	3460	2310	15	22	80	39	6	3	6	5	—	—	—	—
Грейзены неизвестного состава	Забайкалье	10	170	1890	684	10	1640	3460	2162	9	28	80	47	—	—	—	—	—	—	—	—
	Забайкалье	7	151	529	327	7	2192	2806	2459	6	22	39	32	6	3	6	5	—	—	—	—
Грейзены неизвестного состава	Приазовье	13	10	820	357	12	120	3200	1553	10	5	70	19	9	10	27	14	23	20	700	173
	Казахстан	1	—	—	300	1	—	—	2400	1	—	—	10	—	—	—	—	2	75	80	78
Пегматиты	Казахстан	9	10	820	237	9	120	3200	871	8	5	70	17	—	—	—	—	6	30	113	76
	Забайкалье	2	600	780	690	1	—	—	1790	—	—	—	—	8	10	27	18	13	20	80	39
Керамические и слюдяные	Якутия	1	—	—	200	1	—	—	1150	1	—	—	30	1	—	—	10	2	300	700	500
	Кольский п-ов	573	0	6780	609	675	90	25840	2508	302	0	7614	291	41	2	58	12	24	30	430	168
Керамические и слюдяные	Кольский п-ов	344	0	1075	142	367	45	5900	1903	200	0	1770	118	3	3	6	4	15	30	160	85
	Кольский п-ов	110	23	100	67	110	280	1780	449	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Редкометалльные	Саяны	41	13	1012	292	40	130	5900	1903	34	10	611	122	—	—	—	—	—	—	—	—
	Сибирь	39	0	149	82	44	228	650	400	32	0	12	5	—	—	—	—	—	—	—	—
Редкометалльные	Швейцария	150	45	1075	127	169	45	2310	268	133	Следы	1770	165	3	3	6	4	15	30	160	85
	Кольский п-ов	4	35	230	144	4	65	4000	1516	1	—	—	180	—	—	—	—	—	—	—	—
Редкометалльные	Приазовье	163	23	6780	992	159	402	25840	3935	88	12	7614	353	10	4	30	17	7	200	430	338
	Кавказ	58	40	1131	632	60	402	25840	7326	40	94	7614	604	—	—	—	—	4	420	430	427
Редкометалльные	Кавказ	4	360	980	660	4	220	2300	1220	1	—	—	330	—	—	—	—	—	—	—	—
	Кавказ	12	150	710	385	12	1540	7090	3575	12	12	1700	328	—	—	—	—	1	—	—	200



ванных и грейзенизированных гранитах с редкометальной минерализацией (апогранитах) и до 2660 г/т в альбититах. При рассмотрении содержаний лития в мусковитах по районам в пределах одного генетического типа можно видеть, что мусковит из двуслюдяных и мусковитовых гранитов Забайкалья в отличие от Казахстана, Алтая и Средней Азии содержит лития значительно больше. По данным Р. Н. Соболева (Соболев, Ситнин, 1970), мусковит из мусковитовых гранитов различных районов СССР содержит лития 834 г/т (среднее по 27 анализам).

В грейзенах наиболее высокое содержание лития относится к мусковитам из слюдяных и мусковитовых грейзенов Дальнего Востока и Забайкалья (см. табл. 101). Лития в мусковите грейзенов примерно столько же, сколько его в мусковите грейзенизированных гранитов.

Среди пегматитов по содержанию лития резко выделяются мусковиты из редкометальных пегматитов. В этих мусковитах среднее содержание лития почти на порядок выше по сравнению с содержанием его в мусковите из керамических и слюдяных пегматитов (см. табл. 101). В керамических и слюдяных пегматитах по содержанию лития в мусковите выделяется район Кольского полуострова, где лития содержится в два раза больше, чем в пегматитах Сибири, и на порядок больше, чем в пегматитах Карелии и Саян.

В редкометальных пегматитах наиболее высокое содержание лития относится к мусковиту из района Казахстана, Алтая, Монгольского Алтая. Интересно, что в жильбертите из пегматитов среднее содержание лития 705 г/т (Солодов, Фабрикова, Солодова, 1968; Шмакин, 1965), причем в жильбертите из редкометальных пегматитов содержится 1470 г/т лития, а мелкочешуйчатый мусковит — серицит из редкометальных пегматитов Кольского полуострова — содержит лития 342 г/т (Гордиенко, 1970).

Среди различных жильных выполнений мусковит из зальбандов, прожилков и оторочек прожилков в грейзенах более обогащен литием, чем мусковит из кварцевых жил (см. табл. 101). В жильбертите из жильных выполнений содержится лития 503 г/т, в сериците — 600 г/т.

Из приведенных средних содержаний лития в мусковите из различных пород разных районов следует, что содержания лития увеличиваются: в гранитоидах — от неизменных и слабоизмененных к измененным, грейзенизированным и альбитизированным (апогранитам); в пегматитах — от слюдяных и керамических к редкометальным. Следовательно, наибольшая часть лития накапливается в более поздних образованиях, хотя известно, что в пегматитах Кольского полуострова концентрация лития в мусковите в пределах определенного типа пегматита уменьшается от ранних к более поздним генерациям (Гордиенко, 1970).

Рубидий. Установлено, что при обогащении мусковита литием происходит увеличение содержания рубидия. Среди гранитоидов, так же как в случае с литием, рубидий накапливается в измененных, альбитизированных и грейзенизированных гранитах (апогранитах), достигая наибольшего количества в альбитите — 6750 г/т. Характерно, что для каждого типа гранитоидов самые высокие содержания рубидия приходятся на мусковиты Забайкалья.

Содержание рубидия в мусковите из пегматитов аналогично литию изменяется от минимального (1903 г/т) в керамических и слюдяных пегматитах до максимального (3935 г/т) — в редкометальных. В жильбертите из керамических и слюдяных пегматитов содержится рубидия 540 г/т (Шмакин, 1965), из редкометальных — 5900 г/т (Солодов, Фабрикова, Солодова, 1968). В мелкочешуйчатом мусковите — сериците из редкометальных пегматитов — содержание рубидия составляет 3973 г/т (Гордиенко, 1970). Наиболее низкие содержания рубидия, так

же как и лития, наблюдаются в мусковитизированных сланцах и ослюденелых гнейсах (см. табл. 101).

Цезий. Средние содержания цезия в мусковите имеют иную картину по сравнению со средними содержаниями лития и рубидия. Минимальные его содержания (следы) приходится на мусковит из неизмененных гранитоидов, грейзенов и жильных выполнений; максимальные — на альбитизированные и грейзенизированные граниты (апограниты) — 218 г/т, в альбититах — 323 г/т, в редкометальных пегматитах — 353 г/т. В сланцах и гнейсах мусковит содержит Cs значительно больше (на порядок и выше) по сравнению с неизмененными гранитами, грейзенами и жильными выполнениями.

Повышенные содержания цезия наблюдаются в жильбертите — 1960 г/т (Солодов, Фабрикова, Солодова, 1968) и в лепидолите — 2930 г/т (Солодов, 1960) из редкометальных пегматитов Монгольского Алтая. Лепидолит из пегматитов Кольского полуострова содержит цезия 264 г/т (Боровик-Романова, Соседко, 1957), из апогранитов Забайкалья — 166 г/т (Залашкова, Сырицо, 1969; Ситнин, Разина, 1963).

Таллий. Содержание таллия в мусковите из гранитоидов определялось очень редко. Нет данных о содержании его в мусковите из сланцев и гнейсов. Наибольшее количество анализов на таллий проведено в мусковите из пегматитов, где его содержится в среднем 12 г/т (см. табл. 101), причем в редкометальных пегматитах содержание таллия на порядок выше, чем в керамических и слюдяных. Характерно, что средние содержания таллия в мусковитах из грейзенов, пегматитов и жильных выполнений очень близки. Жильбертит из редкометальных пегматитов Монгольского Алтая содержит таллия 25 г/т, из жильных выполнений Забайкалья — 7 г/т (Солодов, 1962).

Галлий. Наиболее высокие содержания галлия относятся к мусковитам из альбитизированных и грейзенизированных гранитов (апогранитов) и редкометальных пегматитов. В различных грейзенах, жильных выполнениях и керамических и слюдяных пегматитах галлия в мусковите на порядок ниже. В грейзенах Казахстана среднее содержание галлия в жильбертите 55 г/т, в сериците — 52 г/т (Ганеев, Пачаджанов, Борисенок, 1961). Имеются данные о содержании этого элемента в лепидолите из пегматитов США (штат Колорадо). Среднее содержание галлия по пяти анализам — 190 г/т (Heinrich, 1967).

Тантал и ниобий. При рассмотрении средних содержаний тантала и ниобия в мусковите из гранитоидов обнаруживается, что содержания этих элементов закономерно увеличиваются от неизмененных гранитов (Ta — 8, Nb — 75 г/т) до измененных, альбитизированных и грейзенизированных (Ta — 32, Nb — 210 г/т). При этом ниобия содержится значительно больше, чем тантала (иногда в 10 раз и более). Интересно, что в мусковите из апогранитов (альбитизированных и грейзенизированных гранитов с редкометальной минерализацией) содержание тантала и ниобия заметно уменьшается (Ta — 19, Nb — 109 г/т), по-видимому, за счет концентрации этих элементов в собственных минералах (табл. 102).

В литературе известны данные о содержаниях тантала и ниобия в мусковите из гранитоидов различных районов СССР (табл. 103).

При сравнении величины Nb:Ta наблюдается закономерность: мусковиты из мусковитовых и двуслюдяных гранитов Кавказа и Алтая имеют более низкую величину отношения (10 — для Кавказа и 7 — для Алтая), чем мусковит из альбитизированных и грейзенизированных гранитов тех же районов (5). В мусковите из гранитоидов Забайкалья наоборот: в мусковитах из мусковитовых и двуслюдяных гранитов величина Nb:Ta равна 5—8, а из альбитизированных и грейзенизированных гранитов — 11.

## Содержание в мусковите тантала, ниобия, бериллия, олова и вольфрама, г/т

Генетический тип	Регион	Ta				Nb				Be				Sn				W			
		количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее
Гранитоиды		87	2	53	20	80	9	281	114	57	5	100	23	68	0	1000	210	—	—	—	—
Кварцевые диориты	Кавказ	4	2	3	3	4	38	43	40	—	—	—	—	4	140	600	340	—	—	—	—
Адамеллит	Казахстан	1	—	—	6	—	—	—	—	1	—	—	4	1	—	—	16	—	—	—	—
Микроклиновый гранит	Забайкалье	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	25	1	—	—	500	—	—	—	—
Биотитовый (измененный) гранит	Казахстан	2	8	9	8	2	50	100	75	2	11	11	11	2	65	100	82	—	—	—	—
Мусковитовый гранит		11	6	46	22	12	60	250	132	10	10	50	28	8	18	600	140	—	—	—	—
	Кавказ	1	—	—	6	1	—	—	60	—	—	—	—	1	—	—	18	—	—	—	—
	Урал	—	—	—	—	2	—	—	70	1	—	—	50	—	—	—	—	—	—	—	—
	Казахстан	1	—	—	23	1	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Алтай	3	25	37	32	3	220	250	233	4	10	20	15	4	27	84	47	—	—	—	—
	Забайкалье	6	23	46	27	5	80	250	200	5	12	26	20	3	220	600	356	—	—	—	—
Двуслюдяной »		31	2	49	17	31	9	231	107	9	5	12	8	24	19	600	175	—	—	—	—
	Дальний Восток	1	—	—	5	1	—	—	35	—	—	—	—	1	—	—	150	—	—	—	—
	Кавказ	5	2	9	7	5	55	85	68	—	—	—	—	4	170	600	360	—	—	—	—
	Казахстан	8	3	6	5	8	50	90	69	3	5	6	6	13	19	220	89	—	—	—	—
	Средняя Азия	5	6	16	12	5	9	80	64	2	5	10	8	2	170	270	220	—	—	—	—
	Алтай	10	18	29	27	10	170	203	194	4	9	12	10	4	29	70	55	—	—	—	—
	Забайкалье	2	39	49	44	2	189	231	210	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Грейзенизированный гранит		10	10	53	21	3	—	—	167	9	9	60	22	6	70	1000	416	—	—	—	—
	Казахстан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	230	1000	507	—	—	—	—
	Забайкалье	10	10	53	21	3	60	280	167	9	9	60	22	1	—	—	70	—	—	—	—
	Северо-Восток	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	670	—	—	—	—
Грейзенизированный и альбитизированный гранит		5	28	40	32	5	135	280	210	2	—	—	22	4	14	290	137	—	—	—	—
	Забайкалье	1	—	—	26	1	—	—	280	1	—	—	22	—	—	—	—	—	—	—	—
	Алтай	1	—	—	40	1	—	—	200	1	—	—	22	1	—	—	14	—	—	—	—
	Кавказ	3	28	35	31	3	135	170	150	—	—	—	—	3	240	290	260	—	—	—	—

Генетический тип	Регион	Ta				Nb				Be				Sn				W				
		количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	количество анализов	от	до	среднее	
Апогранит (грейзенизированный и альбитизированный гранит с редкометальной минерализацией)	Кавказ	16	8	43	19	16	60	281	109	4	17	100	36	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Приазовье	9	—	—	14	9	—	—	65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Казахстан	6	8	43	25	6	60	281	109	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Забайкалье	1	—	—	18	1	—	—	154	3	28	100	54	—	—	—	—	—	—	—	—	
Альбитит, кварцевый альбитит	Забайкалье	3	—	—	37	3	—	—	103	3	15	43	24	—	—	—	—	—	—	—	—	
Аляскит	Казахстан	1	—	—	12	1	—	—	8	1	—	—	65	—	—	—	—	—	—	—	—	
Гранит субщелочной	Саяны	1	—	—	25	1	—	—	130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Гранит неизвестного состава	Урал	2	37	53	45	2	140	196	—	15	7	26	12	18	0	240	127	—	—	—	—	
	Казахстан	—	—	—	—	—	—	—	168	—	—	—	—	17	0	30	15	—	—	—	—	
	Дальний Восток	2	37	53	45	2	140	196	168	14	7	26	15	1	—	—	240	—	—	—	—	
Грейзены	—	8	2	44	24	9	20	150	179	30	1	38	11	10	4	1240	224	—	—	—	—	
Мусковитовый и слюдяной грейзены	Казахстан	—	—	—	—	—	—	—	—	10	8	38	16	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Забайкалье	1	—	—	25	1	—	—	504	2	14	38	26	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Дальний Восток	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	—	
Кварц-мусковитовый и кварц-слюдяной грейзены	Казахстан	—	—	—	—	1	—	—	100	16	3	36	14	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Забайкалье	—	—	—	—	1	—	—	100	14	3	36	15	—	—	—	—	100	300	—	—	
Тип не известен	Украина	8	2	44	23	8	20	150	57	4	1	6	3	10	4	1240	224	—	—	—	—	
	Казахстан	2	44	44	44	2	42	56	49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Казахстан	6	2	4	3	6	20	150	65	4	1	6	3	10	4	1240	224	—	—	—	—	
Пегматиты	—	182	0	295	35	184	10	708	147	214	1	100	27	189	1	3960	360	—	—	—	—	
	Керамические и слюдяные	Карелия	44	0	140	18	45	10	520	85	195	1	30	5	84	1	800	89	—	—	—	—
		Кольский п-ов	2	—	—	21	2	20	20	20	91	1	30	4	37	5	29	11	—	—	—	—
		Кавказ	9	0	41	13	9	14	91	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Кавказ	30	3	140	34	30	10	330	106	—	—	—	—	26	30	800	316	—	—	—	—		

Редкометалльные	Саяны	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18	1	50	15	—	—	—	—	
	Сибирь	3	5	6	6	4	46	520	167	87	1	30	7	3	12	14	13	—	—	—	—
	Швейцария	—	—	—	—	—	—	—	—	17	2	15	5	—	—	—	—	—	—	—	—
	Кольский п-ов	139	8	295	58	137	35	708	245	19	14	60	31	66	40	1700	489	—	—	—	—
	Украина	26	33	250	85	26	35	364	171	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Кавказ	4	20	50	34	4	70	708	278	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Урал	24	39	150	95	24	49	500	214	—	—	—	—	20	40	350	188	—	—	—	—
	Казахстан	1	—	—	53	1	—	—	511	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Средняя Азия	1	—	—	28	1	—	—	250	1	—	—	26	1	—	—	350	—	—	—	—
	Алтай	9	8	64	37	9	90	300	204	1	—	—	36	1	—	—	680	—	—	—	—
	Саяны	47	30	40	35	47	130	136	133	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Сибирь	3	—	—	30	3	—	—	200	5	26	60	46	5	100	800	537	—	—	—	—
	Забайкалье	2	25	197	111	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Дальний Восток	22	8	295	71	22	56	455	248	1	—	—	12	39	250	1700	692	—	—	—	—
Монгольский Алтай	—	—	—	—	—	—	—	—	3	14	36	24	—	—	—	—	—	—	—	—	
Пегматиты, связанные со щелочными породами	Урал	—	—	—	—	2	—	—	140	2	4	90	47	—	—	—	—	—	—	—	—
Состав не известен	СССР (Казахстан), США, Швейцария, Африка	—	—	—	—	—	—	—	—	7	6	100	21	39	4	3960	517	—	—	—	—
Жильные выполнения	СССР (Казахстан, Забайкалье), Швейцария	—	—	—	—	19	15	17	16	35	3	132	32	20	60	200	128	19	280	900	476
	Оторочки прожилков и прожилки в грейзенах	Казахстан, Забайкалье, Дальний Восток	—	—	—	—	19	15	17	16	24	4	132	44	20	60	200	128	19	280	900
Сланцы мусковитизированные, мусковит-серицитовые	СССР (Казахстан), Швейцария	—	—	—	—	—	—	—	—	16	1	16	4	—	—	—	—	—	—	—	—
Гнейсы ослоденелые, мусковитизированные	Кавказ, Сибирь, Швейцария	7	5	9	7	7	10	70	30	14	3	12	7	7	7	23	13	—	—	—	—

Содержание тантала и ниобия в мусковитах, г/т

Гранит	Количество анализов	Ta	Nb	Используемые материалы
Лейкократовые и двуслюдяные	72	33	133	Ляхович, 1970
То же	33	21	109	Ситнин, 1966
Мусковитовые	27	22	121	Соболев, Ситнин и др., 1970
То же	11	22	132	Табл. 102 (настоящая работа)

Средние содержания тантала и ниобия в мусковите из грейзенов близки к средним содержаниям их в мусковите из грейзенизированных гранитов Забайкалья. Среди мусковитов из пегматитов наименьшие средние содержания тантала и ниобия относятся к мусковиту из керамических и слюдяных типов, наибольшие — к мусковиту из редкометалльных пегматитов. Самые низкие содержания тантала и ниобия наблюдаются в мусковите из ослюденелых и мусковитизированных гнейсов (см. табл. 102).

В мелкочешуйчатом мусковите — сериците из пегматитов Кольского полуострова содержится — Ta — 70, Nb — 73 г/т (среднее по пяти анализам). В лепидолите из апогранитов Забайкалья Ta — 22, Nb — 69 г/т, а из пегматитов Алтая Ta — 82, Nb — 69 г/т.

Бериллий. Для гранитоидов содержание бериллия в мусковите возрастает от неизмененных гранитов (11 г/т) к альбитизированным и грейзенизированным (22 г/т). Наиболее высокое содержание бериллия (54 г/т) характерно для мусковита из апогранитов Забайкалья (см. табл. 102). Для пегматитов содержание бериллия в мусковите возрастает от керамических и слюдяных (5 г/т) к редкометалльным (31 г/т). Среди мусковитов редкометалльных пегматитов наибольшие количества бериллия характерны для Саян, а наименьшие — для Забайкалья. Мусковиты сланцев и гнейсов содержат незначительные количества бериллия (см. табл. 102).

В жильбертите из пегматитов Монгольского Алтая содержится Be 3 г/т; в сериците из измененных биотитовых гранитов Забайкалья его содержание составляет 85 г/т, а из сланцев — 30 г/т. Лепидолит из пегматитов Дальнего Востока содержит бериллия около 30 г/т, из пегматитов Монгольского Алтая — 72 г/т.

Олово. Изменение содержания олова в мусковите из различных генетических типов пород можно проследить в табл. 104. Средние содержания этого элемента для всех мусковитов имеют один порядок, исключая мусковит из керамических и слюдяных пегматитов и из ослюденелых гнейсов. Наиболее высокими содержаниями олова характеризуются мусковиты из грейзенизированных гранитов и грейзенов Казахстана и из редкометалльных пегматитов Забайкалья (см. табл. 102). Высокие содержания олова наблюдаются в мусковите из пегматитов США и Африки (Аренс, Либенберг, 1952). Есть данные И. Г. Ганеева (Ганеев, Пачаджанов, Борисенок, 1961) о содержании олова в жильбертите (10—620 г/т) и в сериците (10—250 г/т) из грейзенов Казахстана.

В лепидолите из пегматитов США содержание олова сильно колеблется: штат Колорадо — 199 г/т (Heinrich, 1967), округ Сан Диего и Пала — 86 г/т, Блэк Хиллс и Мэн — 523 г/т; в пегматитах Африки лепидолит содержит от 4 до 792 г/т Sn (Аренс, Либенберг, 1952).

Вольфрам. Известны содержания вольфрама в мусковите и жильбертите из прожилков, оторочек и зальбандов грейзенов Забайкалья (Онтоев, Здобнова, Дудыкина, 1968). Содержания вольфрама в мусковите приведены в табл. 102; в жильбертите они составляют 120 г/т (среднее по 17 анализам).

Содержание элементов-примесей в мусковите, г/т

Генетический тип	Регион	Ge	In	B	Sr	Ba	Sc	V	Zr	Ti	Cr	Ni	Pb	Zn	Bi	Mo	Cu	Mn
Гранитоиды		—	0,05—0,08	11—300	0—840	Следы—890	60—300	0—640	Следы—230	60—1000	Следы—500	0—Следы	0—80	80—450	—	Следы—5	3—100	20—500
			0,06 (2)	60 (9)	36 (53)	57 (53)	169 (9)	48 (43)	99 (35)	560 (16)	178 (8)	—	37 (83)	275 (29)	—	1 (4)	18 (23)	122 (30)
Адамеллит	Казахстан	—	—	—	—	—	—	11	80	—	—	—	—	—	—	1	20	—
Микроклиновый гранит	Забайкалье	—	—	—	—	—	—	—	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Бiotитовый (измененный) гранит	Казахстан	—	—	40	—	—	—	15—71	60—110	—	—	—	—	300	—	—	10	—
				20—300	—	—	—	43 (2)	85 (2)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Мусковитовый гранит		—	—	113 (3)	—	—	—	20—26	30—230	—	—	—	30	300—450	—	2	3—30	—
				20—300	—	—	—	22 (3)	143 (5)	—	—	—	—	387 (4)	—	—	14 (4)	—
	Алтай	—	—	113 (3)	—	—	—	20—26	30—90	—	—	—	30	300—450	—	2	3—30	—
				113 (3)	—	—	—	23 (2)	57 (4)	—	—	—	—	387 (4)	—	—	14 (4)	—
	Забайкалье	—	—	—	—	—	—	20	230	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Двухслюдной гранит		—	—	40	—	—	—	20—110	40—210	—	—	—	0—70	200—450	—	1 (2)	3—100	—
				—	—	—	—	50 (9)	104 (8)	—	—	—	50 (5)	362 (6)	—	—	34 (6)	—
	Казахстан	—	—	40	—	—	—	20—63	70—100	—	—	—	70	400—450	—	—	3—9	—
				—	—	—	—	33 (3)	85 (2)	—	—	—	—	425 (2)	—	—	6 (2)	—
	Средняя Азия	—	—	—	—	—	—	30—33	80—140	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				—	—	—	—	32 (2)	110 (2)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Алтай	—	—	—	—	—	—	47—110	40—210	—	—	—	0—60	200—350	—	1 (2)	10—100	—
				—	—	—	—	84 (4)	117 (4)	—	—	—	30 (4)	300 (4)	—	—	62 (4)	—
Грейзенизированный гранит		—	—	100	—	—	100—300	10—80	150	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				—	—	—	200 (3)	46 (3)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Казахстан	—	—	—	—	—	100—300	10—50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				—	—	—	200 (2)	30 (2)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Забайкалье	—	—	—	—	—	—	80	150	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Грейзенизированный и альбитизированный гранит	Якутия	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Аляскит	Алтай	—	—	—	—	—	—	33	—	—	—	—	—	—	—	—	3	—
	Казахстан	—	0,05	30	—	—	—	44	—	—	—	—	—	2000	—	—	3	—
	Якутия	—	0,05	30	—	—	—	44	—	—	—	—	—	200	—	—	—	—
Гранитоиды неизвестного состава		—	0,08	11—60	0—840	Следы—890	60—290	0—640	Следы—100	60—1000	Следы—500	0—Следы	<5—80	80—200	—	Следы—5	3—20	20—500
				35 (2)	36 (53)	57 (53)	138 (7)	138 (23)	51 (17)	560 (16)	178 (8)	—	18 (17)	40 (17)	—	? (17)	9 (10)	122 (30)
Грейзены		0—50	—	—	50—500	—	—	—	50—100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		19 (3)	—	—	?	—	—	—	?	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Тип не известен	Казахстан	8,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Якутия	0—50	—	—	50—500	—	—	—	50—100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Пегматиты		4—19	0,25—3,4	5—480	2—150	10—9800	4—481	2—532	4—260	—	2—146	1—70	7—390	38—300	—	1 (2)	—	—
		6 (18)	3 (39)	57 (24)	25 (170)	741 (163)	81 (73)	46 (28)	100 (25)	—	16 (14)	21 (22)	50 (94)	148 (23)	—	—	—	—
Нерудкометалльные (керамические, слюдяные и др.)		—	—	5—50	2—150	10—9800	4—48	2—170	4—260	—	2—10	1—70	7—390	38—190	—	1 (2)	—	—
				25 (14)	25 (161)	882 (156)	25 (67)	56 (18)	89 (20)	—	4 (6)	28 (17)	50 (94)	72 (22)	—	—	—	—
	Карелия	—	—	—	—	—	—	4—48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				—	—	—	—	25 (67)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Саяны	—	—	—	11—14	840—1600	—	—	—	—	—	—	7—52	38—190	—	—	—	—
				—	12 (43)	1272 (43)	—	—	—	—	—	—	23 (19)	64 (19)	—	—	—	—
	Сибирь	—	—	—	2—52	10—9800	—	30—170	4—260	—	—	—	8—390	72—95	—	1 (2)	—	—
				—	23 (58)	903 (58)	—	74 (9)	69 (4)	—	—	—	78 (75)	81 (3)	—	—	—	—
	Индия	—	—	—	3—15	14—1265	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				—	10 (46)	537 (46)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Швейцария	—	—	5—50	5—150	250—1800	—	2—105	10—150	—	2—10	1—70	—	—	—	—	—	—
				25 (14)	55 (14)	818 (9)	—	38 (9)	109 (16)	—	4 (6)	28 (17)	—	—	—	—	—	—
Редкометалльные		—	—	30	10	—	50	5—10	—	—	—	—	—	300	—	—	—	—
	Казахстан	—	—	30	—30	—	—	8 (2)	—	—	—	—	—	300	—	—	—	—
	Средняя Азия	—	—	—	—	—	—	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Саяны	—	—	—	10	—	50	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Тип не известен	СССР (Урал, Казахстан, Сибирь), Австрия, Швейцария, Норвегия, США, Африка	4—19	<0,25—3,4	20—480	2—76	23—360	24—481	2—532	13—180	—	2—146	10—20	—	—	—	—	—	—
		6 (18)	? (39)	115 (9)	42 (8)	176 (7)	169 (5)	105 (8)	122 (5)	—	28 (8)	14 (5)	—	—	—	—	—	—
Жильные выполнения		—	—	10—40	10—40	120—400	60	50—230	120	—	13—32	20—170	9—100	100—600	40—600	6—60	8—170	600—6100
				19 (17)	18 (9)	271 (20)	60	148 (22)	120	—	24 (3)	93 (3)	38 (20)	442 (19)	320 (2)	23 (19)	59 (19)	2036 (22)
Кварцевые жилы	Швейцария	—	—	21—40	15—40	230	—	50—230	120	—	13—32	20—170	—	—	—	—	—	—
				29 (4)	26 (3)	—	—	146 (3)	120	—	24 (3)	93 (3)	—	—	—	—	—	—
Оторочки прожилков и прожилки в грейзенах	Казахстан, Средняя Азия, Забайкалье	—	—	10 (13)	10 (6)	120—400	60	130—160	—	—	—	—	9—100	100—600	40—600	6—60	8—170	600—6100
				—	—	312 (19)	—	150 (19)	—	—	—	—	38 (20)	442 (19)	320 (2)	23 (19)	59 (10)	2036 (22)
Сланцы	Швеция, Швейцария	—	—	10—40	6—1600	390—1180	—	5—225	35—1250	—	10—330	4—25	—	—	—	—	—	200 (2)
				23 (13)	245 (15)	990 (10)	—	99 (15)	208 (15)	—	131 (14)	8 (14)	—	—	—	—	—	—
Гнейсы	Швейцария	—	—	8—90	3—200	300—2000	—	15—220	10—200	—	5—200	1—50	—	—	—	—	—	—
				22 (28)	58 (23)	1018 (11)	—	95 (24)	141 (30)	—	81 (27)	14 (25)	—	—	—	—	—	—

Примечания. 1. Числитель—пределы содержаний, знаменатель—среднее содержание. 2. В скобках—количество анализов.

Бор. По немногочисленным анализам, представленным в табл. 104, бор содержится примерно в одинаковых количествах в мусковите гранитоидов и пегматитов. Содержание бора в мусковите из жильных выполнений, ослюденелых сланцев и мусковитизированных гнейсов, по сравнению с гранитоидами и пегматитами, в 2—3 раза меньше.

В сериците из измененных биотитовых гранитов Забайкалья содержится 50 г/т В (Косалс, Мазуров, 1968); в лепидолите из пегматитовой жилы грейзенного замещающего комплекса Дальнего Востока его содержание составляет 160 г/т (Недашковский, Конькова, 1963).

Стронций, барий. Содержание этих элементов в мусковите из разных генетических типов пород различно. В гранитоидах мусковит характеризуется почти одинаковыми количествами стронция и бария. Мусковит из пегматитов, а также из жильных выполнений и гнейсов содержит бария значительно больше (на порядок и выше), чем стронция (см. табл. 104). В мусковите из сланцев барий также преобладает над стронцием, хотя и в меньшей степени. Имеются данные о содержании в лепидолите из пегматитов США (штат Колорадо) Sr — 48 г/т и Ba — 36 г/т (Heinrich, 1967).

Представление о средних содержаниях бария и стронция и о распределении других элементов-примесей в мусковите можно составить из табл. 104. По количеству этих определений в мусковитах выделяются Sc, V, Zr, Pb и Zr. Остальные элементы определялись в мусковите редко. Интересно, что скандия в мусковите из гранитоидов содержится в два раза больше (169 г/т), чем в мусковите из пегматитов (81 г/т), а ванадий, так же как и цирконий, находится почти в равных количествах в мусковите из гранитоидов и пегматитов. Содержание цинка в мусковите значительно выше, чем содержание свинца для всех генетических типов пород и руд (см. табл. 104).

Имеются данные о содержании германия в мусковите (см. табл. 104) и в лепидолите — 18 г/т (среднее по 10 анализам) из пегматито-пневматолитовой породы Казахстана (Новохатский, Калинин, Замятина, 1968).

Индий обнаружен в лепидолите из грейзена Якутии в количестве 0,13 г/т (Иванов, 1964). В лепидолите из пегматитов Африки его содержится <0,25—4,9 г/т, из пегматитов США — <0,25—4,2 г/т (Аренс, Либенберг, 1952). Данные о содержании индия в мусковите помещены в табл. 104.

Кроме того, имеются единичные анализы мусковитов на редкие земли, торий, гафний, уран. В мусковите из жильных оторочек в грейзенах Казахстана сумма редких земель, например, равна 8 г/т (по материалам К. Д. Субботина и Л. В. Ганзеевой); мусковит из пегматита Сибири содержит 100 г/т лантана (Васильева, 1966), 3 г/т тория и 1 г/т гафния (Шмакин, Макрыгина, 1969).

По данным Ю. Г. Щербакова (Щербаков, Пережогин и др., 1964), в мусковите из гранитоидов содержится 0,0038 г/т золота (среднее по 7 анализам).

Таким образом, концентрация того или иного элемента в мусковите различна и зависит от многих факторов (принадлежность к определенному типу породы, к определенному региону, к поздней или ранней стадии кристаллизации и т. п.).

### О применении оценок средних содержаний элементов-примесей в геологии

До недавнего времени в научной литературе по рудным месторождениям при характеристике особенностей распределения элементов употреблялись качественные геохимические оценки (много, мало, больше, меньше), а при выяснении степени концентрации элементов-приме-

сей в породообразующих минералах ограничивались сравнением с кларком земной коры или соответствующего типа пород. Перспективы рудоносности изверженных пород также обычно определялись исходя из анализа валовых содержаний элементов в породе. Такой подход, оправданный на первых этапах исследований, в значительной степени исчерпал свои возможности и постепенно заменяется анализом распределения элементов по отдельным минеральным фазам.

Исследованиями последних лет получено большое количество частных оценок содержаний химических элементов в различных природных образованиях, в том числе в отдельных минеральных фазах пород и руд. Это дало возможность вывести геохимические константы — оценки средних содержаний элементов-примесей в минералах, необходимость в которых определялась задачами повышения эффективности поисков и перспективной оценки минерального сырья, а также необходимостью перехода к количественной характеристике закономерностей поведения элементов в процессах породо- и рудообразования.

Наличие оценок средних содержаний элементов-примесей в главных рудо- и породообразующих минералах позволяет оценить общее состояние и перспективы развития сырьевой базы тех элементов, основная часть которых находится в рассеянном виде (Rb, Cs, Ga, Tl, Jn, Se и др.), а также более обоснованно судить о возможной рудоносности различных типов магматических образований в отношении различных редких, цветных и других металлов и предсказывать перспективы обнаружения новых типов месторождений редких и рассеянных элементов.

Вся имеющаяся на сегодняшний день информация по распределению элементов в породах и рудах свидетельствует, что однотипные эндогенные образования, сформировавшиеся в сходных физико-химических и тектонических условиях, особенно в пределах единой регионально-геологической структуры, в целом характеризуются близкими закономерностями распределения и содержания полезных компонентов. Это позволило получить приведенные выше статистические оценки средних содержаний элементов-примесей в минералах для однотипных месторождений и интрузивных пород.

Из сравнения полученных оценок средних содержаний элементов в различных типах месторождений видно, что эти величины различны. Это позволяет использовать их для суждения об условиях образования соответствующего типа руд, а также для оценки возможности их комплексного использования. Все это необходимо для правильной характеристики общих перспектив этих геологических образований. Степень концентрации некоторых элементов в минералах различных типов месторождений и пород обычно отличается весьма значительно — на два-три порядка, тогда как для других остается довольно постоянной. К первым относится большинство элементов-примесей: Jn, Se, Te, Re, Sc, Ta, Nb, Li, Rb, Cs, платиновые и другие металлы, ко вторым — Cd, Ga, Be и некоторые другие в отдельных минералах (Cd в сфалерите; Ga и Be в слюдах, полевых шпатах и т. д.).

Существенное влияние на степень концентрации элементов в минералах оказывают и общие геохимические особенности отдельных рудных провинций. Например, для индия в большинстве случаев повышенные концентрации в рудных минералах сопутствуют повышенным содержаниям олова, в связи с чем сходные типы руд из оловоносных и неоловоносных провинций отличаются по величине индиености. Во многих случаях в пределах одного типа месторождений статистически обособились группы, характеризующиеся различными оценками средних содержаний селена и теллура. Чаще различные оценки характеризуют однотипные месторождения разных районов, но иногда они могут различаться и в пределах одного района, причем во всех случаях отно-

сительно повышенные концентрации, например, селена характерны для месторождений, обогащенных медью.

Сходными общими особенностями характеризуется распределение Pd, Pt, Au и других элементов в рудных минералах месторождений. Близкая, но более сложная картина имеет место для рения. В частности, на степень концентрации рения оказывает влияние не только величина обогащенности руд медью, но и относительное время образования медных минералов, а также степень метаморфизма, битуминозности руд и другие факторы. В целом можно сказать, что при прочих равных условиях для всего эндогенного процесса чрезвычайно характерна максимальная концентрация рения в случаях, благоприятных для совместного накопления молибдена, меди и битумов.

Все эти особенности, которые были показаны для различных элементов в численном выражении, могут быть использованы для решения различных вопросов металлогении, рудообразования и для выявления новых потенциальных видов сырья в недалеком будущем.

На основе обобщения приведенных в работе оценок средних содержаний элементов-примесей в некоторых породообразующих минералах подсчитаны обобщенные оценки для некоторых разновидностей пород и пегматитов (табл. 105). Они получены как средневзвешенные с учетом распространенности минерала в соответствующем типе пород.

В табл. 105, кроме оценок, вытекающих из настоящей работы, приведены данные В. В. Ляховича и Л. Н. Овчинникова (1970). Эти оценки средних содержаний подсчитаны недавно для различных генетических типов гранитоидных пород (палингейных, автохтонных, габброидных) и особенно наглядно отражают специфику химизма различных процессов магмообразования и в частности резкую обедненность большинством литофильных элементов минералов из гранитоидов производных габброидных магм по сравнению с палингейными гранитоидами Ф. Р. Апельцин, А. И. Гинзбург, В. В. Архангельская, Н. П. Заболотная, З. Г. Караева, Б. В. Макеев и О. Д. Ставров (1970) систематизировали данные по содержаниям элементов-примесей в некоторых минералах отдельно для «рудноносных» и «нерудноносных» гранитов. Обычно содержание рудных элементов в одноименных минералах «рудноносных» гранитов в три—шесть раз больше, чем в «нерудноносных». В отличие от оценок этих авторов наши оценки характеризуют средние содержания элементов в минералах главнейших петрохимических групп пород независимо от их генетической принадлежности и степени рудоносности, которые во многих случаях не могут быть охарактеризованы достаточно определенно. В некоторых случаях они отражают химизм различных генераций минералов (ранних, поздних). Такие оценки средних содержаний химических элементов в минералах отдельных типов изверженных пород и эндогенных руд позволяют судить о закономерностях распределения и величинах накопления элементов в отдельных формациях, фациях и типах пород и руд в целом и для отдельных районов. Они дают возможность исследователям рудных месторождений и петрографам количественно определять степень концентрации каждого элемента в различных производных эндогенных процессах, помогут создать теорию этих процессов, а также установить степень обогащенности или обедненности тем или иным полезным ископаемым различных типов месторождений и отдельных месторождений.

Для этих же целей, а также для космохимических и различных глобальных общегеологических построений, для суждения о характере и величине концентрации элементов в производных наиболее крупных природных процессов в целом (магматического, пегматитового и т. д.) нами подсчитаны генеральные оценки средних содержаний некоторых элементов в изученных главных породо- и рудообразующих минералах

Оценки средних содержаний некоторых редких элементов в главных

Минерал	Тип породы	Тип руды	Li	Rb	Cs
Пироксен	Основные	—	15	215	—
	Щелочные	—	18/7	81/10	20
	Кислые	—	38	15	—
Амфибол	Основные	—	5	90	—
	Щелочные	—	1340/3160	101/508	29/490
	Кислые	—	15	18	5
Биотит	Основные	—	80	1100	—
	Щелочные	—	1110	2000	103
	Кислые	—	1100	1250	—
Мусковит	Кислые	—	948 (I)	1053 (I)	104 (I) 29 (II)
			1129 (II)	1700 (II)	95/196
			45 (III)	164 (III)	—
	912/1937	1480/4120	—		
	Пегматиты	—	160	537	108
керамические микроклиновые альбитовые	—	—	—	—	
Грейзены	—	1515	4141	259	
562	2077	45	—	—	
Калиевые полевые шпаты	Щелочные	—	10	460	16
			1,5/20	380/1190	12
	Кислые	Пегматиты	38 (I) 7 (II)	802 (I)	—
			—	729 (II)	—
			13	367	3
керамические	—	7	2717	143	
микроклиновые альбитовые	—	217	9810	879	
Плагиоклаз	Щелочные	—	—	264	3
			7/19 34 (I)	193/328	—
	Кислые	Пегматиты	7,5 (II)	112 (I)	—
			—	118 (II)	4
			—	11	18
73	214	137	—		
Нефелин	Щелочные	Щелочно-габброидные	10	160	—
		Щелочно-гранитоидные	50	270	—
		Калиево-щелочно-ба- зальтоидные	48	210	—
Кварц	Кислые	—	11 (I) 0,6 (II) 1,1 (III)	—	—

Примечания. I. Для пироксенов и амфиболов — в числителе высокотемпературные, шпата, плагиоклазов — в числителе из неизменных пород, в знаменателе — из измененных III — из габброидных.

(таблицы 106, 107). Эти величины получены в результате статистической обработки всего имеющегося в мировой литературе аналитического количественного материала по содержаниям перечисленных элементов в минералах. Они основаны на оценках средних содержаний элементов в минералах, полученных первоначально для каждого типа месторождений в отдельности. Затем, методом среднего взвешенного, с учетом доли каждого типа пород и руд в общем балансе минералов, были установлены генеральные оценки средних содержаний каждого элемента в соответствующем минерале. Полученные на основании большого количества, главным образом химических анализов генераль-

породообразующих минералах разных типов пород, г/т

Be	Sc	TR	Nb	Ta
3 11/21 3	121 11/18 40	140 300/800 —	3 310/1040 31	0,4 40/220 1
2 24/88 8	80 23/26 132	70 200/800 500	30 340/1220 40	2 50/55 6
— 8 8	15 22 14	30 200 40	78 390 148	13 40 12
5,3 (I) 0,5 (II) 18/23	58 (I) 20 (II) 200	— —	130 (I) 165 (II) 115/100	14,6 (I) 15,2 (II) 19/27
5 — 29 13	30 — — 20	— — — —	81 — 163 65	29 — 51 2
9 2,5 3 (I) 2,4 (II) 2,1 (III)	— —	— 295	— —	— —
1,3 — 13	— — —	— — —	— — —	— — —
7/19 12 (I) 3 (II) 2 (III)	—	100	—	—
— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
5 2 10	— — —	— — —	— — —	— — —
0,7 (I) 0,4 (III)	—	—	—	—

в знаменателе — низкотемпературные разности минералов. 2. Для мусковита, калиевого полевого и редкометалльных. 3. По данным В. В. Ляховича, I — из палингенных; II — из автохтонных;

ные оценки средних являются надежными, представительными величинами кларкового характера — минеральными кларками.

Геохимический смысл этих величин в том, что они характеризуют наиболее вероятный средний уровень концентрации элемента (оптимальную изоморфную емкость), при каких-то наиболее часто встречающихся геологических условиях. Их сырьевое и технологическое значение в том, что они совершенно четко показывают уровни содержания элементов, выше которых начинается область их повышенных концентраций, а также относительную практическую значимость различных минералов в отношении каждого элемента. Из таблиц 106, 107, в кото-

Таблица 106

## Генеральные оценки средних содержаний элементов-примесей в некоторых рудных минералах (минеральные кларки, г/т)

Минерал	In	Cd	Ge	Ga	Tl	Se	Te	Re	Pt	Pd	Ta	Nb	Sc
Пирит . . . . .	—	—	—	—	24	81	34	0,6	—	—	—	—	—
Сфалерит . . . . .	49	2705	43	32	19	—	—	—	—	—	—	—	—
Халькопирит . . . . .	12	89	—	—	—	86	37	1,1	0,18	1,0	—	—	—
Галенит . . . . .	4	72	—	—	4,6	55	20	—	—	—	—	—	—
Молибденит . . . . .	2	—	—	—	1	110	29	114	—	—	—	—	—
Касситерит . . . . .	24	—	—	40	—	—	—	—	—	—	1000	1400	90
Вольфрамит . . . . .	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	95	3500	3

Таблица 107

## Генеральные оценки средних содержаний некоторых редких элементов в породообразующих минералах (минеральные кларки, г/т)

Минерал	Li	Rb	Cs	Be	Sc	TR	Nb	Ta
Пироксен . . . . .	15	200	10	4	100	150	20	2
Амфибол . . . . .	800	100	30	10	50	100	100	20
Биотит, флогопит . . . . .	700	1400	100	8	20	90	200	20
Мусковит . . . . .	1000	2500	160	20	80	—	100	25
Калиевые полевые шпаты . . . . .	15	700	15	5	—	—	—	—
Плагноклаз . . . . .	15	150	5	10	—	—	—	—
Нефелин . . . . .	35	220	—	6	—	—	—	—
Кварц . . . . .	5	—	—	0,5	—	—	—	—

рых приведены далеко не все элементы, видно, какой комплекс элементов-примесей наиболее характерен для каждого минерала. Среди рудных минералов наибольшей комплексностью в отношении числа и степени концентрации элементов-примесей выделяется халькопирит, а среди породообразующих минералов — темноцветные и мусковит. В связи с этим необходимо отметить, что первоочередной задачей является резкое повышение степени извлечения всех элементов-примесей в медной отрасли цветной металлургии, а также утилизация и комплексная переработка слюд.

Геохимическое значение минеральных кларков в том, что при помощи их впервые представилась возможность произвести количественную оценку степени концентрации элементов в различных минералах, типах руд, месторождениях, а также в рудных провинциях и процессах. Оказалось, что в очень многих случаях представления по геохимической миграции элементов, основанные на качественных показателях, оказались ошибочными. Например, считалось, что германий в эндогенном рудном процессе проявляет, в основном, халькофильные свойства. Достаточно подсчитать коэффициенты концентрации различных элементов (отношение частных оценок для отдельных типов месторождений к минеральному кларку), чтобы убедиться, что коэффициент концентрации германия в главном его минерале-концентрате — сфалерите — в подавляющем большинстве эндогенных рудных месторождений ниже единицы. Подобным же образом были количественно охарактеризованы особенности геохимической истории U<sub>n</sub>, Cd, Ga, Tl, Re, Pt, Pd (Иванов, 1966; Иванов, Поплаво, Горохова, 1969; Юшко-Захарова и др., 1967).

Несомненно, что и геохимия всех других элементов, для которых имеются указанные оценки средних содержаний, может быть охарактеризована количественно.

Необходимо также подчеркнуть, что редкие элементы, о которых здесь идет речь, являются наиболее чувствительными индикаторами условий рудообразования, поэтому количественная характеристика деталей их геохимической миграции поможет уточнить многие неясные общие вопросы рудообразования и металлогении, что в ряде случаев более важно, чем изучение самих редких элементов. Как известно, химический состав различных генераций минерала из одного и того же месторождения может быть подвержен значительным вариациям. Так, например, ранние генерации сфалеритов и галенитов из однотипных месторождений значительно обогащены по сравнению с поздним (первый индием, а второй висмутом). Наоборот, таллий и германий обычно накапливаются в поздних разновидностях минералов. Причем необходимо учитывать, что самые поздние переотложенные разновидности рудных минералов, как правило, резко обеднены большинством элементов-примесей.

Нередко степень концентрации ряда элементов-примесей в минерале зависит от глубины его образования. Особенно детально этот вопрос разработан для элементов-примесей касситеритов Н. Н. Никулиным. В частности, им установлено, что в некоторых месторождениях содержание индия в этом минерале закономерно убывает от верхних горизонтов рудных тел к нижним, а тантала, скандия и ниобия возрастает, что дало возможность использовать геохимические данные для определения глубины формирования рудных тел и степени их эродированности. Приведенные в работе оценки средних содержаний элементов-примесей в минералах, учитывающие анализы всех генераций минерала данного типа пород или месторождения, позволяют судить о степени накопления элемента в каждой из изучаемых генераций и разновидности минерала на основании минимального числа дополнительных определений.

Не менее важны частные и генеральные оценки средних содержаний элементов-примесей для прогнозно-металлогенических исследований. Появилась возможность количественно охарактеризовывать степень концентрации элементов-примесей в сходных месторождениях различных провинций и объективно выделять так называемые геохимические провинции элементов. К последним могут быть отнесены те районы, коэффициенты геохимической обогащенности минералов пород и руд которых  $(K_1)^* > 1$ . Известно, что среди геохимических провинций, являющихся наиболее крупными территориальными единицами, имеются отдельные районы большей или меньшей концентрации элементов. Зная оценку среднего содержания элемента в минерале интересующего нас типа месторождения и имея данные о содержании его в том же минерале конкретных месторождений, легко подсчитать величину его накопления.

Важную роль играет геохимия в перспективной оценке отдельных месторождений различных полезных ископаемых. Особенно эффективно данные этой науки будут использованы, когда будут получены надежные оценки средних содержаний (кларки и ферсмы) для всех важных элементов-примесей во всех главных рудообразующих минералах. Несомненно также, что с помощью этих величин можно решать и многие другие геохимические, а также технологические и экономические вопросы. При этом широкое применение оценок средних содержаний элементов-примесей в минералах важно для решения следующих задач: 1) изучения состава и повышения эффективности комплексного

\*  $K_1 = \frac{x}{\hat{\theta}_r}$ ;  $x$  — оценки среднего содержания элемента в минерале определенно-

го типа месторождения или изверженной породы данной провинции;  $\hat{\theta}_r$  — генеральная оценка среднего (минеральный кларк) соответствующего элемента в этих минералах.

промышленного использования полезных компонентов различных рудных минералов, типов руд, месторождений и пород; 2) выявления особенностей и деталей образования различных минералов, типов руд, месторождений и пород; 3) установления сходства между различными месторождениями и породами, генетических признаков групп месторождений и пород, близких геохимически, и связей месторождений с соответствующими изверженными и осадочными породами; 4) предсказания степени рудоносности различных интрузивных образований и суждения о возможном качестве руд и величине кондиций на различные элементы; 5) характеристики рудных провинций, районов и полей и выявления связей между различными представителями зональных рудномагматических рядов; 6) разбраковки геохимических аномалий при поисках полезных ископаемых; 7) характеристики геохимической истории отдельных элементов и различных их природных ассоциаций; 8) решения некоторых вопросов общей геохимии: особенностей изоморфизма, физико-химических условий концентрации элементов, закономерностей их распределения по фазам, путей их природной миграции, подсчета наиболее надежных кларков редких элементов в земной коре и различных типов пород и руд; 9) для наиболее эффективной и простой геологической перспективной оценки запасов полезных ископаемых в недрах и общих перспектив развития минерально-сырьевой базы различных химических элементов уже на стадии геологопоисковых работ.

В заключение отметим, что несмотря на очень большой объем проведенных весьма трудоемких исследований, некоторые результаты которых изложены в этой книге, далеко не все элементы и минералы охарактеризованы достаточным фактическим материалом, и предстоит еще большая работа по уточнению полученных величин. Тем не менее уже имеющиеся числа позволяют объективно судить о степени изученности элементов, о геохимических закономерностях их поведения в магматических и рудных процессах и давать надежную перспективную оценку комплексных руд на элементы-примеси и возможностей рудоносности магматических образований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абисалов Э. Г., Бровчук И. Ф., Недашковский П. Г. О нормах содержания акцессорного бериллия в породообразующих минералах гранитоидов Дальнего Востока.— В кн.: Геохимические циклы Дальнего Востока. Владивосток, 1969, с. 21—27.

Агапова Л. И. Распределение лития, рубидия, таллия в жильных образованиях и околожильных измененных породах Первомайского участка Джидинского месторождения.— «Тр. ИМГРЭ», 1961, вып. 7, с. 71—78.

Александров С. М., Барсуков В. Л., Щербина В. В. Геохимия эндогенного бора. М., «Наука», 1968, 184 с.

Анализ минерального сырья. Л., Госхимиздат, 1956, 1056 с.

Альбитизированные и грейзенизированные граниты (апограниты). М., Изд-во АН СССР, Москва, 1962, 196 с. Авт.: А. А. Беус, Э. А. Северов, А. А. Ситнин, К. Д. Субботин.

Андреева Е. Д. К вопросу о нефелинизации на примере уртитового массива в Кузнецком Алатау.— В кн.: Щелочные породы Сибири. 1962, вып. 76. (Тр. ИГЕМ), с. 81—98.

Андреева Е. Д. О феррогастингите из жильного нефелинового сиенита (Кузнецкий Алатау).— В кн.: Щелочной магматизм складчатого обрамления юга Сибирской платформы. М., «Наука», 1965, с. 230—241.

Андреева Е. Д. Щелочной магматизм Кузнецкого Алатау. М., «Наука», 1968, 170 с.

Аношин Г. Н., Дорош В. М., Косалс Я. А. и др. О рудоносности гранитоидных магм.— В кн.: Геохимические критерии потенциальной рудоносности гранитоидов. Симпозиум. Ч. I.— Доклады. Иркутск, 1970, с. 189—215.

Антипин В. С., Клепикова Е. А. Особенности распределения щелочей и таллия в гранитоидах амуджикано-сретенского комплекса (Восточное Забайкалье).— В кн.: Материалы конф. молодых науч. сотр., филиал Сиб. отд. АН СССР, Иркутск, 1968, с. 23—27.

Антипин В. С., Кузьмин М. И., Пополитов Э. И., Знаменский Е. Б. О генезисе калиевых полевых шпатов в мезозойских порфировидных гранитоидах Восточного Забайкалья.— «Геохимия», 1969, № 6, с. 698—708.

Апельцин Ф. Р. Эволюция состава слюд как критерий редкометалльной минерализации гранитизированных кристаллических сланцев.— В кн.: Геология месторождений редких элементов, вып. 30. М., «Недра», 1966, с. 144—159.

Апельцин Ф. Р., Гинзбург А. И., Архангельская В. В. и др. Потенциальная рудоносность магматических образований на примерах эндогенных месторождений (олова, бериллия, лития, цезия, тантала, ниобия), генетически связанных с гранитоидами.— В кн.: Геохимические критерии потенциальной рудоносности гранитоидов. Симпозиум СГПМ, II сессия, часть I, Иркутск, 1970, с. 146—188.

Аполлонов В. И. К минералогии Саргардонского рудного поля.— В кн.: Геология, минералогия и геохимия рудных регионов Узбекистана. Ташкент, Изд-во ФАН УзССР, 1969, с. 221—229.

Аренс Л. Х. Геохимическое исследование редких элементов южноафриканских минералов и пород.— В кн.: Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах. М., Изд-во иностр. лит., 1952, с. 51—57.

Аренс Л. Х., Либенберг У. Р. Олово и индий в слюдах по данным спектрохимических определений.— В кн.: Редкие элементы в изверженных породах и минералах. М., Изд-во иностр. лит., 1952, с. 78—84.

Бадалов С. Т. К геохимии рения в медно-молибденовых месторождениях Алмалыка.— В кн.: Рений. М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 78—84.

Бадалов С. Т. Минералогия и геохимия эндогенных месторождений Алмалыкского рудного района. Ташкент, «Наука», 1965, 275 с.

Бадалов С. Т., Еникеев М. Р. К геохимии палладия в Алмалыкском и Алтын-Топканском рудных полях Карамазара.— «Геохимия», 1959, № 4, с. 328—335.

Бадалов С. Т., Моисеева М. И. К геохимии редких элементов эндогенных месторождений Кураминских гор.— В кн.: Геология, минералогия и геохимия рудных регионов Узбекистана. Ташкент, изд-во ФАН УзССР, 1969, с. 50—67.

Бадалов С. Т., Терехович С. П. К геохимии элементов платиновой группы в Алмалыкском рудном районе (УзССР).—«Докл. АН СССР», т. 168, № 6, 1966, с. 1397—1400.

Бадалов С. Т., Баситова С. М., Годунова Л. И., Шодиев Ф. Ш. К геохимии рения и молибдена в эндогенных сульфидных месторождениях Средней Азии.—«Геохимия», 1966, № 1, с. 99—104.

Балашов Ю. А., Кекелин Н. А. Влияние фациальных изменений на распределение редкоземельных элементов в породах Зекарской габбро-диоритовой интрузии.—«Геохимия», 1965, № 9, с. 1106—1113.

Балашов Ю. А., Недарейшвили Д., Кекелин Н. А. Баланс редкоземельных элементов в габброидах Квиренской интрузии.—«Геохимия», 1970, № 10, с. 1204—1215.

Балашов Ю. А., Френкель М. Я., Ярошевский А. А. Влияние кристаллохимического фактора на разделение редкоземельных элементов в процессе кристаллизационной дифференциации силикатов.—«Геохимия», 1970, № 7, с. 855—858.

Барабанов В. Ф., Сырицо Л. Ф. Влияние ниобия, тантала и скандия на удельный вес вольфрамита.—«Зап. Всесоюз. минер. об-ва», сер. II, ч. 95, вып. 5, 1966, с. 578—583.

Баранов В. Д. Первичная зональность оруденения и распределение редких элементов в полиметаллических месторождениях Зыряновского рудного района (Рудный Алтай).—«Тр. ИМГРЭ АН СССР», 1963, вып. 10, с. 230—247.

Барсуков В. Л. К геохимии олова.—«Геохимия», 1957, № 1, с. 36—45.

Барсуков В. Л. Об изоморфизме бора в силикатах.—«Геохимия», 1958, № 7, с. 660—666.

Бекботаев А. Т., Макаров В. Б. Нефелины из Борсуксайского и Карасьского массивов щелочных пород.— В кн.: Геология (тематич. сб. статей аспирантов и соискателей), вып. 1. Алма-Ата, 1966, с. 138—147.

Белянкина Е. Д., Гурьева Э. Я., Игнатова М. Д. и др. Генезис и типизация промышленного мусковита.—«Тр. ИГЕМ», 1958, вып. 12, с. 153.

Беус А. А. Геохимия бериллия.—«Геохимия», 1956, № 5, с. 75—92.

Беус А. А. Особенности изоморфного вхождения бериллия в кристаллические структуры минералов.—«Геохимия», 1956, № 1, с. 67—80.

Беус А. А. Закономерности распределения бериллия в изверженных горных породах.— В кн.: Геохимия редких элементов в связи с проблемой петрогенезиса. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 20—35.

Беус А. А. Распределение тантала и ниобия в мусковитах из гранитных пегматитов.—«Геохимия», 1966, № 10, с. 1216—1221.

Беус А. А., Сажина Л. И. О кларке бериллия в кислых магматических породах СССР.—«Докл. АН СССР», т. 109, № 4, 1956, с. 807—810.

Беус А. А., Федорчук С. Н. О кларке бериллия в гранитных пегматитах.—«Докл. АН СССР», № 1, 104, 1955, с. 108—111.

Бобриневич А. П., Илупин И. П., Козлов И. Т. Петрография и минералогия кимберлитовых пород Якутии. М., «Недра», 1964. 191 с.

Борисенко Л. Ф. Скандий в месторождениях различных генетических типов. Изв. АН СССР, сер. геол., № 4, 1959, с. 53—60.

Борисенко Л. Ф. Скандий. М., Изд-во АН СССР, 1961. 130 с.

Борисенко Л. Ф. О некоторых особенностях распределения галлия в гипербазитах.—«Геохимия», 1963, № 8, с. 746—753.

Борисенко Л. Ф. Скандий.— В кн.: Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов, т. 1. М., «Наука», 1964, с. 162—192.

Борисенко Л. Ф. Редкие и малые элементы в гипербазитах Урала. М., «Наука», 1966, 224 с.

Борисенко Л. Ф. О характере геохимической связи Sc, Mg, Fe и Ti в эндогенных образованиях.—«Геохимия», 1970, № 7, с. 779—787.

Борисенко Л. Ф., Комиссарова Л. Н. Скандий в минералах группы вольфрамита.—«Докл. АН СССР», т. 135, № 2, 1960, с. 430—433.

Борисенко Л. Ф., Лизунов Н. В. К вопросу о распределении скандия и ниобия в вольфрамитах.—«Геохимия», 1958, № 6, с. 582—586.

Борисенко Л. Ф., Лизунов Н. В. К вопросу о нахождении скандия и некоторых других редких элементов в касситерите.—«Геохимия», 1959, № 1, с. 64—68.

Борисенко Л. Ф., Сердобова Л. И. О распределении титана, ванадия, хрома и никеля в гипербазитах платиноносного пояса.—«Геохимия», 1965, № 3, с. 348—358.

Бородин Л. С., Нечаева И. А., Ганзеев А. А., Осокин Е. Д., К проблеме формаций щелочных пород и их редкометального оруденения. Изв. АН СССР, сер. геол., 1970, № 3, с. 29—31.

Борисенок Л. А. Распределение галлия в горных породах Советского Союза.—«Геохимия», 1959, № 1, с. 46—59.

Борисенок Л. А., Злобин Б. И. Галлий в щелочных породах массива гор Сандык (Северная Киргизия).—«Геохимия», 1959, № 6, с. 505—517.

Борисенок Л. А., Рябчиков И. Д. Галлий в минералах слюдоносных пегматитов месторождения Тэдино.—«Геохимия», 1962, № 1, с. 62—66.

Борисенок Л. А., Таусон Л. В. Геохимия галлия в гранитоидах Сусамырского батолита (Центральный Тянь-Шань).—«Геохимия», 1959, № 2, с. 145—151.

Борнеман-Старынкевич И. Д. Изоморфные и неизоморфные замещения в минералах.—«Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1951, № 6, с. 153—157.

Борнеман-Старынкевич И. Д. Руководство по расчету формул минералов. М., «Наука», 1964, 224 с.

Боровик-Романова Т. Ф., Калита Е. Д. О цезиево-рубидиевом микроклин-пертите и распространении в нем редких щелочных металлов.—«Геохимия», 1958, № 2, с. 107—114.

Боровик-Романова Т. Ф., Соседко А. Ф. Содержание редких щелочей в минералах из пегматитовых жил Кольского полуострова по спектральным анализам.—«Геохимия», 1957, № 5, с. 368—379.

Боровик-Романова Т. Ф., Соседко А. Ф. О соотношении между содержанием галлия и рубидия в минералах из пегматитовых жил Кольского полуострова по данным спектрального анализа.—«Геохимия», 1960, № 1, с. 31—36.

Боровик-Романова Т. Ф., Соседко А. Ф., Савинова Е. Н. Об отношении содержания калия к рубидию в минералах из пегматитовых жил Кольского полуострова по данным спектрального анализа.—«Геохимия», 1958, № 4, с. 334—341.

Дж. М. Брей. Распределение второстепенных элементов в изверженных породах района Джемстоун, Колорадо, по данным спектроскопических исследований.— В кн.: Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах. М., Изд-во иностр. лит., 1952, с. 109—153.

Бровчук И. Ф., Миронюк А. Ф. Распределение олова в палеозойских гранитоидах и осадочно-метасоматических породах Малого Хингана.— В кн.: Геохимические циклы Дальнего Востока. Владивосток, 1969, с. 89—96.

Бровчук И. Ф., Недашковский П. Г., Овчарек Э. С. Возрастание взаимоотношения палеозойских гранитоидов Малого Хингана и распределение в них тантала и ниобия.— В кн.: Геохимические циклы Дальнего Востока. Владивосток, 1969, с. 77—82.

Бугаец А. Н., Садовский Ю. А. Статистическое исследование поведения редких элементов в слодах одного из редкометалльных месторождений.— В кн.: Математические методы в геологии. Алма-Ата, Изд-во Каз. ун-та, 1968, с. 93—105.

Бурыхин И. В. Геологический очерк и некоторые особенности руд месторождения Каданджай.— «Тр. Ин-та геол. АН КиргССР», 1958, вып. 10, с. 35—49.

Быбочкин А. М., Быховский Л. З., Гурвич С. И., Четырбоцкая И. И. Вольфрамитовые месторождения — новый источник получения тантала.— «Разведка и охрана недр», 1963, № 7, с. 10—12.

Вагер Л. Р., Митчелл Р. Л. Предварительные данные о распределении редких элементов в породах интрузий Скаергаард, Гренландия.— В кн.: Редкие элементы в изверженных горных породах. М.—Л., Изд-во иностр. лит., 1952, с. 169—182.

Вайнштейн Э. И., Тугаринов А. И., Туранская Н. В. О закономерностях в распределении редких земель в некоторых минералах.— «Геохимия», 1956, № 2, с. 36—56.

Васильева В. П. Элементы-примеси в мусковитах Чуйского месторождения.— «Геохимия», 1966, № 1, с. 105—114.

Великий А. С., Волгин В. Ю., Иванов В. С. Редкие элементы в сурьмяно-рутутных месторождениях Средней Азии.— В кн.: Формы нахождения и особенности распределения редких элементов в некоторых типах гидротермальных месторождений. М., «Наука», 1967, с. 180—212.

Вершковская О. В. Галлий в породах и минералах Хрустального месторождения.— «Тр. ИМГРЭ АН СССР», 1963, вып. 10, с. 201—208.

Вершковская О. В. и др. Галлий. «Тр. ИМГРЭ АН СССР», 1960, 146 с. Виленский А. М. Геология и петрология интрузивных траппов севера Сибирской платформы. М., «Наука», 1966, 260 с.

Виноградов А. П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры.— «Геохимия», 1962, № 7, с. 555—571.

Виноградов А. П., Вайнштейн Э. Е., Павленко Л. И. Вольфрам и молибден в изверженных породах.— «Геохимия», 1958, № 5, с. 399—408.

Власов К. А., Кузьменко М. В., Еськова Е. М. Ловозерский массив. М., Изд-во АН СССР, 1959, 623 с.

Волков В. П., Поляков А. И., Караханова М. И. Особенности химизма породообразующих минералов дифференцированного комплекса Ловозерского щелочного массива.— «Геохимия», 1962, № 6, с. 482—489.

Волочкович К. Л., Леонтьев А. И. О размещении ореолов палеозойского магматизма в структуре Талицко-Монголо-Алтайского геантиклинального поднятия.— «Докл. АН СССР», т. 147, № 1, 1962, с. 177—180.

Воробьев Г. Г. Галлий в минералах и горных породах Монголии.— «Геохимия», 1957, № 8, с. 713—722.

Воробьев Г. Г. Общая дискуссия.— В кн.: Геохимия редких элементов в связи с проблемой петрогенезиса. М., Изд-во АН СССР, 1959. Тр. геохим. симпозиума. с. 152—154.

- Воробьева М. С., Синдеева Н. Д. Редкие элементы в серно- и медно-колчеданных месторождениях Среднего Урала.— В кн.: *Формы нахождения и особенности распределения редких элементов в некоторых типах гидротермальных месторождений*. М., «Наука», 1967, с. 76—110.
- Воробьева О. А., Самойлова Н. В., Свешникова Е. В. Габбро-пироксенит-дунитовый пояс Среднего Урала.— «Тр. ИГЕМ», 1962, вып. 65, 319 с.
- Воронцов А. Е., Лин Н. Г. Рубидий и литий в гранитоидах бугульминского комплекса (Восточный Саян).— «Геохимия», 1966, № 11, с. 1377—1384.
- Воскресенская В. Б. и др. О находке титаноливина в кимберлитах Сибири.— «Зап. Всесоюз. минер. об-ва», ч. 94, вып. 5, 1965, с. 600—603.
- Воскресенская Н. Т. К геохимии галлия и рубидия в изверженных породах.— «Геохимия», 1959, № 6, с. 495—504.
- Гаврилова Л. К., Туранская Н. В. Распределение редких земель в породообразующих и акцессорных минералах некоторых гранитов.— «Геохимия», 1959, № 2, с. 124—129.
- Гаврусевич Б. А. Основы общей геохимии. М., «Недра», 1968, 328 с.
- Гамалея Ю. Н. Содержания редких щелочей и степень триклинности К-Na-полевых шпатов в гранитоидах различной щелочно-металльности (на примере Улканского плутона).— «Докл. АН СССР», т. 181, № 2, 1968, с. 451—453.
- Гельман М. Л. Триасовая диабазовая формация Аноийской зоны (Чукотка). Геология и геофизика. Новосибирск, «Наука», Сиб. отд.; 1963, № 2, с. 127—134.
- Ганеев И. Г., Сечина Н. П. К геохимическим особенностям вольфрамитов.— «Геохимия», 1960, № 6, с. 518—523.
- Ганеев И. Г., Сечина Н. П. К вопросу о геохимических особенностях альбитизированных гранитов.— «Геохимия», 1962, № 2, с. 140—146.
- Ганеев И. Г., Пачаджанов Д. Н., Борисенко Л. А. К геохимии галлия, олова и некоторых других элементов в процессе грейзенизации.— «Геохимия», 1961, № 9, с. 757—764.
- Гармаш А. А. Особенности распространения редких элементов в полиметаллических месторождениях Змеиногорского района Рудного Алтая.— «Тр. ИМГРЭ АН СССР», 1960, вып. 4, с. 3—19.
- Гармаш А. А., Курбанова Н. З. Селен и теллур в рудах Золотушинского месторождения (Рудный Алтай).— «Тр. ИМГРЭ АН СССР», 1963, вып. 10, с. 136—157.
- Гармаш А. А., Иванов В. В., Кузнецов К. Ф. Среднетемпературные свинцово-цинковые месторождения.— В кн.: *Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов*. М., «Наука», 1966, с. 445—489.
- Геохимические поиски эндогенных месторождений редких элементов. М., «Недра», 1968, Авт.: А. А. Беус, В. В. Беренгилова, Л. И. Грабовская и др. 264 с.
- Геохимия Ловозерского щелочного массива. М., «Наука», 1966. 395 с. Авт.: В. И. Герасимовский, В. П. Волков, Л. Н. Когарко и др.
- Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Гл. ред. К. А. Власов. 1964, 688 с.
- Геохимия, минералогия и методы определения элементов группы платины. М., «Недра», 1970, 200 с. Авт.: О. Е. Юшко-Захарова, В. В. Иванов, И. С. Разина, Л. А. Черняев.
- Герасимовский В. И. Геохимия редкоземельных элементов.— В кн.: *Редкоземельные элементы*. М., Изд-во АН СССР, 1958, с. 29—41.
- Герасимовский В. И., Несмеянова Л. И. О распределении свинца и цинка в породах Ловозерского массива.— «Геохимия», 1960, № 7, с. 590—593.
- Герасимовский В. И., Тузова А. М., Борисенко Л. А., Рассказова В. С. Галлий в породах Ловозерского щелочного массива.— «Геохимия», 1959, № 5, с. 449—454.
- Гинзбург А. И. Некоторые особенности геохимии лития.— «Тр. Минер. музея АН СССР», 1957, вып. 8, с. 29—41.
- Гинзбург А. И., Берхиз С. И. О составе и химической конституции литиевых слюд.— «Тр. Минер. музея АН СССР», 1953, вып. 5, с. 90—131.
- Глебов М. П. и др. Состав мусковита из пегматитов Восточного Саяна в условиях меняющейся щелочности среды.— «Геохимия», 1968, № 10, с. 1218—1224.
- Гнатив Г. М., Матковский О. П. О биотитах гранитоидов Западной Волины.— «Минер. сб. Львовск. геол. об-ва», 1958, № 12, с. 332—350.
- Говоров И. Н., Недашковский П. Г., Левашов Г. Б. и др. *Признаки и факторы геохимической специализации гранитоидов Дальнего Востока*.— В кн.: *Геохимические критерии потенциальной рудоносности гранитоидов*. Симпозиум. Часть I—Доклады. Иркутск, 1970, с. 83—145.
- Годлевский М. Н. Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. М., Госгеолтехиздат, 1959, 68 с.
- Гольдшмидт В. М. К геохимии бора.— «Сб. статей по геохимии редких элементов. М.—Л., ГОНТИ, 1938, с. 120—136.
- Гольдшмидт В. М., Петерс К. К геохимии галлия.— «Сб. статей по геохимии редких элементов». М.—Л., ГОНТИ, 1938, с. 72—86.

Гольдшмидт В. М., Петерс К. К геохимии германия.— «Сб. статей по геохимии редких элементов». М.—Л., ГОНТИ, 1938, с. 144—163.

Гольдшмидт В. М., Петерс К. К геохимии бериллия.— «Сб. статей по геохимии редких элементов». М.—Л., ГОНТИ, 1938, с. 86—98.

Гольдшмидт В. М., Бауэр Г., Витте Г. К геохимии щелочных металлов.— «Сб. статей по геохимии редких элементов». М.—Л., ГОНТИ, 1938, с. 185—192.

Гордиенко В. В. Минералогия, геохимия и генезис сподуменовых пегматитов. М., «Недра», 1970, 239 с.

Гордиенко В. В., Денисов А. П. Влияние содержания рубидия на параметры элементарной ячейки мусковита.— «Докл. АН СССР», т. 156, № 2, 1964, с. 335—337.

Горохова В. Н. Рений.— В кн.: Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. М., «Наука», т. 1, 1964, с. 612—640.

Готман Я. Д. Типоморфные особенности касситерита оловорудных месторождений СССР.— «Тр. ИГН», вып. 46, минер. серия (№ 9), 1941, с. 63—94.

Григорьев Д. П. Кристаллические фазы NiO—SiO<sub>2</sub>. «Бюлл. МОИП. Сер. геол.», вып. 15, 1937, с. 149—153.

Григорьев В. М., Момджи Г. С. Редкие элементы в железных рудах. Геология месторождений редких элементов. Вып. 29. М., «Недра», 1966, с. 41—61.

Грудинин М. И., Летников Ф. А. Геохимия никеля в ультраосновных породах в магматическую и постмагматическую стадии.— В кн.: Эндогенное оруденение Прибайкалья. М., «Наука», 1969, с. 165—169.

Грум-Гржимайло С. В. и др. Кривые спектрального поглощения и другие физические константы природных слюд.— «Минер. сб. Львов. геол. об-ва», 1955, № 9, с. 90—119.

Дагенхарт Х. О геохимическом распределении циркония в литосфере.— В кн.: Геохимия редких элементов. М., Изд-во иностр. лит., 1959, с. 157—308.

Демин А. М., Хитаров Д. Н. Геохимия K, Rb и Tl в приложении к вопросам петрологии.— «Геохимия», 1958, № 6, с. 570—581.

Дир У. А., Хауи Р. А., Дж. Зусман. Породообразующие минералы, тома I, II, М., «Мир», 1965, с. 372 (I), с. 406, (II); III, IV—1966, с. 318 (III); с. 484 (IV).

Дистлер В. В., Шулик Л. С. Распределение редких элементов в вольфрамитовых редкометалльных рудных узлах.— В кн.: Очерки геохимии эндогенных и гипергенных процессов. М., «Наука», с. 52—64.

Дмитриев Л. В., Знаменский Е. Б. К вопросу о распределении титана в гранитах.— «Геохимия», 1956, № 4, с. 48—49.

Дудкин О. Б., Козырева Л. В., Померанцева Н. Г. Минералогия апатитовых месторождений Хибинских тундр. М.—Л., «Наука», (Ленингр. отд.), 1964, 236 с.

Дудыкина А. С. Парагенетические особенности ассоциации элементов-примесей в касситеритах различных генетических типов оловорудных месторождений.— «Тр. ИГЕМ», 1959, вып. 28, с. 111—121.

Дудыкина А. С. К геохимии скандия.— «Тр. ИГЕМ», 1960, вып. 46, с. 3—54.

Дядькина И. Я. Условия образования мусковита Слюдяногорского месторождения (Средний Урал).— «Тр. ВСЕГЕИ», 1964, т. 108, с. 23—35.

Егоров И. Н., Гамалея Ю. Н., Минц М. В. О распределении циркония в породах и минералах Улканского субщелочного массива.— «Геохимия», 1966, № 12, с. 1471—1477.

Егорова Е. Н. О никеленности оливина.— «Зап. Всерос. минер. об-ва», 67, сер. 2, 1938, с. 962—972.

Елисеев Э. Н. Геохимия главнейших сульфидных медно-никелевых провинций СССР.— В кн.: Проблемы геохимии, вып. 1, Львов, 1959, с. 6—183.

Елисеев Э. Н., Кавардин Г. И., Юдин Б. А. Оливин в ультраосновных и основных породах Кольского полуострова.— «Вестн. ЛГУ. Сер. геол. и географ.», вып. 2, 1960, № 2, с. 5—14.

Еременко Г. К., Вальтер А. А., Клименчук В. И. К вопросу о распределении галлия в щелочных породах (на примере Приазовья).— «Геохимия», 1963, № 2, с. 132—136.

Еськова Е. М. Ниобий.— В кн.: Геохимия редких элементов, т. 1. М., «Наука», 1964, с. 342—372.

Еськова Е. М., Жабин А. Г., Мухитдинов Г. Н. Минералогия и геохимия редких элементов Вишневых гор. М., «Наука», 1964, 319 с.

Жиров К. К., Иванова Г. Ф. О распределении рения в молибденитах месторождений ряда генетических типов.— «Геохимия», 1959, № 6, с. 518—523.

Журавлев Р. С., Осипов Д. К. Уран в основных породах Патына и Большой Куль-Тайги в Горной Шории.— «Геохимия», 1965, № 4, с. 493.

Забарина Т. В., Лапина В. В., Минаева Н. А. Распределение индия в касситерите, сфалерите и халькопирите Лифрудзинского оловорудного месторождения.— «Геохимия», 1961, № 2, с. 156—161.

Заболотная Н. П., Новикова М. И., Шацкая В. Т. Вольфрам-молибден-олово-бериллиевые месторождения и условия их образования.— В кн.: Геология месторождений редких элементов, вып. 18. М., «Недра», 1962, 95 с.

Закруткин В. В., Григоренко М. В. Титан и шелочи в амфиболах при метаморфизме.— «Докл. АН СССР», т. 173, № 4, 1967, с. 917—918.

Залашкова Н. Е. Закономерности распространения бериллия, лития и рубидия в гранитах Восточного Забайкалья.— В кн.: Геохимические циклы. (Доклады на XXI сессии Международного геологического конгресса). М., Госгеолтехиздат, 1960, с. 110—120.

Залашкова Н. Е., Сырицо Л. Ф. Эволюция химизма слюд в процессе послемагматического метасоматоза в гранитах.— В кн.: Проблемы метасоматизма. (Материалы к симпозиуму). Л., ВСЕГЕИ, 1969, с. 228—246.

Звягинцев О. Е. Геохимия платины. Л., Химтеоретиздат, 1936, 96 с.

Злобин Б. И. К геохимии таллия в щелочных породах на примере массива г. Сандык (Сев. Киргизия).— «Геохимия», 1958, № 5, с. 441—451.

Злобин Б. И., Горшкова М. Л. Pb и Zn в щелочных породах и некоторые петрологические проблемы.— «Геохимия», 1961, № 4, с. 283—292.

Злобин Б. И., Лебедев В. И. Геохимические связи Li, Na, K, Rb и Tl в щелочной магне и их некоторое петрогенетическое значение.— «Геохимия», 1960, № 2, с. 87—103.

Злобин Б. И., Лебедев В. И. Цезий в щелочных породах.— «Геохимия», 1962, № 6, с. 508—513.

Знаменский Е. В. О распределении титана в гранитах.— «Геохимия», 1957, № 2, с. 109—112.

Знаменский Е. В. К геохимии титана в интрузивном процессе гранитного ряда.— «Геохимия», 1958, № 1, с. 90—95.

Знаменский Е. В., Пополитов Э. И. Зависимость геохимического поведения ниобия и тантала от парагенезисов титановых и титаносодержащих минералов в гранитоидах.— В кн.: Геохимия редких элементов в изверженных горных породах. М., «Наука», 1964, с. 57—64.

Знаменский Е. В., Родионова Л. М., Кахана М. М. О распределении ниобия и тантала в гранитах.— «Геохимия», 1957, № 3, с. 222—225.

Зубков Л. Б., Галецкий Л. С. О ниобо-танталоносном касситерите из коренных пород северо-западной части Украинского кристаллического щита.— «Докл. АН СССР», т. 169, № 3, 1966, с. 660—663.

Зуев В. Н., Зубков Л. Б., Чистяков Л. Б. О формах нахождения тантала и ниобия в грейзенизированных вольфрамитоносных гранитах и вольфрамитовых месторождений СССР.— В кн.: Минералогия и геохимия вольфрамитовых месторождений. Изд-во ЛГУ, 1967, с. 21—33.

Зырянов В. Н. Геохимия редких элементов в систематически измененных гранитоидах и щелочных породах. (ИФТГ АН СССР).— В кн.: Математические методы в геологии, Алма-Ата, 1968, с. 20—33.

Иванов В. В. К геохимии кадмия в месторождениях Депутатской группы.— «Геохимия», 1961, № 2, с. 150—155.

Иванов В. В. Новые данные по геохимии аксессуарных элементов в касситерито-сульфидных рудах.— «Тр. ИМГРЭ», 1961, вып. 7, с. 26—49.

Иванов В. В. Индий в некоторых изверженных породах СССР.— «Геохимия», 1963, № 12, с. 1101—1110.

Иванов В. В. Минералого-геохимические черты и индиенность оловорудных месторождений Якутии. М., «Наука», 1964, 252 с.

Иванов В. В. Геохимия рассеянных элементов в гидротермальных месторождениях. М., «Недра», 1966, 389 с.

Иванов В. В. О системе приближенных оценок средних содержаний химических элементов в геологических образованиях.— В кн.: Математические методы в геологии. М., «Наука», 1968. (Международный геол. конгресс XXIII сессия. Доклады советских геологов). с. 48—53.

Иванов В. В. Об изоморфизме индия в природных солях кислородных кислот и окислах.— В кн.: Геохимия и геология некоторых рудных месторождений. М., «Наука», 1970, с. 141—153.

Иванов В. В., Поплавко Е. М., Горохова В. Н. Геохимия рения. М., «Наука», 1969, 160 с.

Иванов В. В., Родионов Д. А., Тархов Ю. А. О характере распределения и среднем содержании индия в некоторых минералах из месторождений различных генетических типов.— «Геохимия», 1963, № 11, с. 1016—1026.

Иванов В. В., Тархов Ю. А., Максимюк И. Е. Редкие элементы в некоторых оловорудных месторождениях СССР.— В кн.: Формы нахождения и особенности распределения редких элементов в некоторых типах гидротермальных месторождений. М., «Наука», 1967, с. 52—75.

Иванова Г. Ф., Бутузова Е. Г. Особенности распределения вольфрама, олова и молибдена в гранитах Восточного Забайкалья.— «Геохимия», 1968, № 6, с. 689—699.

Ильвицкий М. М., Колбанцев Р. В. Парагенетические типы оливинов и

статистический анализ их химизма.— «Зап. Всесоюз. минер. об-ва», вып. 6, ч. 97, 1968, 658—669.

Ильинский Г. А. Закономерности распределения акцессорных минералов в щелочных породах Туркестано-Алая.— В кн.: Минералогия и геохимия, вып. 3. Л., Изд-во ЛГУ, 1968, с. 66—81.

Ильинский Г. А., Прудников Е. Д., Шапкина Ю. С. Редкие щелочи в минералах из нефелиновых сиенитов Туркестано-Алая.— В сб.: Минералогия и геохимия, вып. 3. Л., Изд-во ЛГУ, 1968, с. 98—103.

Ифантопуло Т. Н., Кравченко С. М., Червинская А. Д. Акцессорные минералы как индикаторы особенностей петрогенезиса. М., «Наука», 1969, 167 с.  
Каленов А. Д., Анিকেева В. Н., Масленков С. Б. Германиевые минералы в медноколчеданных рудах. Докл. АН СССР, вып. 49, № 3, 1963, с. 675—676.  
Карпов А. М. Некоторые черты геохимии марганца в гранитоидах Орского Зауралья.— «Геохим. сб.», Изд-во Саратов. ун-та, вып. 4, 1969, с. 87—98.

Каширин К. Ф., Легейдо В. А. Закономерности распределения олова в гранитоидах Конкудеро-Мамаканского комплекса (Северо-Байкальское нагорье).— «Геохимия», 1967, № 4, с. 418—424.

Киреев Ф. А. Об определении тетраэдрического алюминия в слюдах методом ИК-спектроскопии.— «Геохим. сб.», Изд-во Саратов. ун-та, вып. 4, 1969, с. 185—191.  
Коваленко В. И. и др. Поведение редкоземельных элементов и индия в процессе эволюции щелочных гранитоидов.— «Геохимия», 1969, № 5, с. 541—553.

Коваль П. В., Юрченко С. А., Николаева Д. Х. Парагенетические типы мусковитов из апрогранитов Забайкалья.— «Зап. Всесоюз. минер. об-ва», ч. 99, вып. 4, 1970, с. 432—441.

Ковальский В. В., Никишов К. Н., Егоров О. С. Кимберлитовые и карбонатитовые образования восточного и юго-восточного склонов Анабарской антеклизы. М., «Наука», 1969, 288 с.

Козлов В. Д. К оценке степени концентрации редких элементов в дифференциатах гранитоидных интрузий по минералам-концентраторам.— «Геохимия», 1969, № 3, с. 309—321.

Козлов В. Д., Клепикова Е. А., Сवादковская Л. Н. Распределение рудидия и свинца в калиевых полевых шпатах гранитоидов в процессе магматической дифференциации и автометасоматических изменений.— В кн.: Геохимия и петрология магматических и метасоматических образований. М., «Наука», 1965, с. 175—195.

Козлов Е. К., Юдин Б. А., Докучаева В. С. Основной и ультраосновной комплексы Монче-Волчьих-Лосевых тундр. Л., «Наука», 1967, 166 с.

Козырева Л. В. Элементы-примеси в хибинском нефелине.— «Материалы по минералогии Кольского п-ова», вып. 3, 1962, с. 126—139.

Комаров А. Н., Щуколюков Ю. А. О форме нахождения урана в слюдах.— «Геохимия», 1966, № 11, с. 1322—1330.

Комарова Г. Н., Новоросова Л. Е. О поведении олова и индия в коллоидных агрегатах касситерита.— «Геохимия», 1959, № 8, с. 716—720.

Комиссарова Л. Н., Борисенко Л. Ф., Шацкий В. М. О возможности выделения скандия из пироксенитов.— «Прикладная химия», 1965, № 8, с. 241—244.

Конюк А. А. О химизме слюд из интрузивных горных пород Таласа.— «Тр. ин-та геол. АН Кир.ССР», 1957, вып. 9, с. 85—94.

Конюк А. А. К основам генетической классификации слюд.— «Зап. Кир. отд. Всес. минер. об-ва», вып. 2, 1961, с. 3—21.

Кориковский С. П. Влияние некоторых внешних условий на состав и парагенезисы кальциевых амфиболов.— В кн.: Метасоматизм и другие вопросы физико-химической петрологии. М., «Наука», 1968, с. 138—164.

Косалс Я. А., Мазуров М. П. Поведение редких щелочей, бора, фтора и бериллия при становлении Биту-Джидинского гранитного массива (Юго-Западное Прибайкалье).— «Геохимия», 1968, № 10, с. 1238—1249.

Костерин Д. В., Кизюра В. Е., Кочановский В. М. Цирконий и гафний в касситеритах некоторых дальневосточных месторождений.— В кн.: Геохимия и минералогия магматогенных образований. ДВФ АН СССР, Сиб. отд., 1966, с. 38—39.

Костецкая Е. В., Петрова З. П. Распределение некоторых редких элементов в биотитах из Джидинского гранитоидного комплекса (Западное Забайкалье).— «Геохимия», 1966, № 9, с. 1057—1062.

Кочинян Г. Е. К вопросу о редкометальности щелочных пород Памбакского хребта. «Науч. тр. НИГМИ», вып. 2, 1963, (Арм.ССР), с. 313—323.

Кравченко С. М., Власова Е. В. Щелочные породы Центрального Алдана.— «Тр. ИМГРЭ АН СССР», 1962, вып. 14, 190 с.

Крамер Г. Математические методы статистики. М., Изд-во иностр. лит., 1948, 320 с.

Круглова В. Г., Сидоренко Г. А., Полупанова Л. И. Ромбоздрическая модификация дисульфида молибдена.— «Тр. Минер. музея АН СССР», 1965, вып. 16, с. 233—237.

Крылов А. Я., Атрашенок Л. Я. О формах нахождения урана в гранитах.— «Геохимия», № 3, 1959, с. 246—251.

Крылова М. Д., Дагеланский В. Б., Орловская К. В. О закономерностях распределения скандия между минералами метаморфических пород.— «Геохимия», 1970, № 10, с. 1183—1192.

Кузнецов К. Ф. Редкие и рассеянные элементы в рудах некоторых полиметаллических месторождений Нерчинско-Заводской группы (Восточное Забайкалье).— «Тр. ИМГРЭ АН СССР», 1959, вып. 2, с. 49—73.

Кузнецов К. Ф. Редкие элементы в среднетемпературных свинцово-цинковых месторождениях в карбонатных породах.— В кн.: Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов, т. 3, М., «Наука», 1966, с. 445—460.

Кузнецов Ю. А. Главные типы магматических формаций. М., «Недра», 1964, 387 с.

Кузьменко М. В. О роли слюд в процессе концентрации тантала.— «Докл. АН СССР», т. 140, № 6, 1961, с. 1411—1414.

Кузьменко М. В., Акелин Н. А. Генезис субщелочных гранитов и связанных с ними альбититов и закономерности распределения в них тантала и ниобия. М., «Наука», 1965, 122 с.

Кузьменко М. В., Еськова Е. М. Тантал и ниобий. М., «Наука», 1968, 341 с.

Кузьмин В. И. О некоторых типоморфных особенностях касситерита, касситерит-турмалиновых месторождений Центрального Сихотэ-Алиня.— «Минеральное сырье», 1966, вып. 11, М., «Недра», с. 14—22.

Курек Н. Н., Курек А. И. Измененные околорудные породы и их поисковое значение. «Тр. ВСЕГЕИ», 1954, с. 101—147.

Куроода П., Санделл Э. Геохимия молибдена.— В кн.: Геохимия редких элементов. М.: Изд-во иностр. лит., 1959, с. 209—264.

Кухаренко А. А. О кристаллохимическом факторе дифференциации элементов.— «Зап. Всесоюз. минер. об-ва», ч. 94, вып. 2, 1965, с. 3—9.

Кухаренко А. А., Клер М. М. К геохимии скандия в щелочно-ультраосновных породах Кольского полуострова и Карелии.— «Зап. Всесоюз. минер. об-ва», ч. 91, вып. 5, 1962, с. 520—536.

Кухаренко А. А. и др. К геохимии ниобия и тантала в комплексах щелочно-ультраосновных пород.— «Зап. Всесоюз. минер. об-ва», ч. 90, вып. 2, 1961, с. 172—192.

Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии. М., «Недра», 1965, 772 с. Авт.: А. А. Кухаренко, М. П. Орлова, А. Г. Булах и др.

Куц В. П., Мищенко В. С. Функции распределения содержания лития, рубидия и их некоторых минералов-носителей в гранитах Каменных гор и Екатериновки (Приазовье).— «Геохимия», 1963, № 12, с. 1124—1139.

Лазаренко Е. К. О блеклых рудах.— «Минер. сб. Львов. геол. об-ва», 1956, № 10, с. 171—211.

Латыш И. К. Элементы-примеси в сульфидах Кусимско-Копакской группы титано-магнетитовых месторождений.— «Тр. ИГУФ АН СССР», 1965, вып. 70, с. 325—329.

Лебедев А. П. Соотношение магматизма и рудообразования в Чинейском габбро-анортитовом плутоне (Восточная Сибирь).— «Тр. ИГЕМ АН СССР», вып. 77, 1962, с. 5—18.

Леонова Л. Л. Распределение тория в минералах гранитоидов Сусамырского батолита (Центральный Тянь-Шань).— «Геохимия», 1962, № 6, с. 490—496.

Леонова Л. Л., Ренне О. С. О распределении урана, тория и калия в однородных гранитах.— «Геохимия», 1964, № 8, с. 788—794.

Леонова Л. Л., Таусон Л. В. Распределение урана по минералам каледонских гранитоидов Сусамырского батолита (Центральный Тянь-Шань).— «Геохимия», 1958, № 7, с. 650—659.

Лин Н. Г., Морозов Л. Н., Николаева Д. Х. О соотношении калия и рубидия в щелочных гранитоидах Восточного Саяна.— В кн.: Геохимия редких элементов в изверженных горных породах. М., «Наука», 1964, с. 37—46.

Лисицин А. Е., Хитров В. Г. Распределение бора в минералах некоторых изверженных и метаморфических пород Среднего Урала по результатам микроспектрального анализа.— «Геохимия», 1962, № 3, с. 259—268.

Лутц Б. Г. К вопросу о термометрировании и барометрировании геологических процессов по существующим парам минералов.— В кн.: Редкие элементы в породах различных метаморфических фаций. М., «Наука», 1967, с. 190—199.

Ляхович В. В. О распределении лития, рубидия и стронция в жильных породах, связанных с гранитоидами.— «Геохимия», 1963, № 7, с. 652—657.

Ляхович В. В., Овчинников Л. Н. Некоторые черты геохимии гранитоидов и их рудоносность.— В кн.: Геохимические критерии потенциальной рудоносности гранитоидов. Иркутск, 1970, с. 47—82.

Ляхович В. В. Средние содержания тантала, ниобия и титана в биотитах гранитоидов. «Геохимия», 1970, № 10, с. 1215—1224.

Магакьян И. Г., Пиджян Г. О., Фарамазян А. С. Особенности поведения рения в молибденитах месторождений медно-молибденового пояса Армянской ССР.— В кн.: Рений. М., «Наука», 1964, 26—29.

Малахов И. А. О составе оливинов из ультрабазитов Урала.— «Тр. ИГУФАН», Свердловск, 1965, вып. 70, с. 27—34.

Малинко С. Б. К вопросу изоморфизма бора в пироксенах.— «Геохимия», 1967, № 9, с. 1083—1089.

Мануйлова М. М., Петров Л. Л., Рыбакова М. М. и др. Закономерности распределения щелочных элементов и бериллия в минералах пегматитов Северо-Байкальского пегматитового пояса.— «Геохимия», 1966, № 4, с. 410—422.

Маракушев А. А. Проблемы минеральных фаций метаморфических и метасоматических горных пород. М., «Наука», 1965, 327 с.

Маракушев А. А., Полин Ю. К. О распределении галлия в минералах архейских метаморфических пород Алданского щита.— «Геохимия», 1961, № 2, с. 181—183.

Маракушев А. А., Таранин И. А., Залищак Б. Л. Минеральные фации кислотности-щелочности гранитоидов, бедных кальцием.— В кн.: Минеральные фации гранитоидов и их рудоносность. М., «Наука», 1966, с. 5—72.

Марченко Е. Я., Щербаков В. П. К вопросу о распределении галлия в гранитоидах Приозовья.— «Геохимия», 1966, № 11, с. 1373—1377.

Массив Гремяха-Вырмес на Кольском полуострове. М.—Л., «Наука», 1967. 236 с. Авт.: А. А. Полканов, Н. А. Елисеев, Э. Н. Елисеев, Г. И. Ковардин.

Матковский О. И. Мусковитовые слюды из метаморфических сланцев Чивчинских гор.— «Минер. сб. Львов. ун-та». вып. 4, № 19, 1965, с. 467—475.

Мейтув Г. М. К вопросу о связи меди с селеном и теллуром.— В кн.: Третья конференция молодых научных сотрудников ИМГРЭ. Тезисы докладов. М., 1961, с. 25—26.

Мейтув Г. М. К геохимии редких элементов свинцово-цинковых месторождений Кличкинского района (Восточное Забайкалье).— «Геохимия», 1962, № 7, с. 598—609.

Минеев Д. А. Геохимия апогранитов и редкометалльных метасоматитов Северо-Западного Тарбагатая. М., «Наука», 1968, 185 с.

Минеева И. Г. О подвижной форме урана и тория в щелочных породах и связанных с ними постмагматических образованиях.— «Геохимия», 1965, № 4, с. 443—455.

Мищенко В. С., Куц В. П., Орлова Л. А. К геохимии галлия в высокотемпературных постмагматических процессах.— «Геохимия», 1966, № 4, 443—452 с.

Могаровский В. В., Мельниченко А. К. Геохимия стронция в верхнепалеозойских гранитоидах Южного Гиссара (Таджикистан).— «Геохимия», 1967, № 9, с. 1090—1098.

Могаровский В. В., Мельниченко А. К. Закономерности распределения ниобия и тантала в гранитоидах Гиссарского плутона (Центральный Таджикистан).— «Геохимия», 1968, № 9, с. 1088—1096.

Морковкина В. Ф. Метасоматические преобразования гипербазитов Полярного Урала.— «Тр. ИГЕМ», 1962, вып. 77, с. 130—224.

Недашковский П. Г., Конькова С. И. О химическом составе слюд из редкометаллозамещенных пегматитов.— «Сообщ. Дальневост. филиала», вып. 20, 1963 (Сиб. отд. АН СССР), с. 17—21.

Недашковский П. Г., Погорелова М. Г. Закономерности распределения аксессуарного бериллия в гранитах Дальнего Востока.— В кн.: Магматические и метаморфические комплексы Дальнего Востока СССР. Хабаровск, 1962, с. 185—187.

Некрасов И. Я. Распределение тантала и ниобия в магматических и постмагматических породах и минералах Северо-Востока СССР.— В кн.: Экспериментальные и теоретические исследования минеральных равновесий. М., «Наука», 1968, с. 73—96.

Некрасов И. Я., Пахомова К. С. О распределении рения в породах и молибденитах скарновых и гидротермальных месторождений Якутии.— В кн.: Геохимические исследования золота и редких элементов в Якутии. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 49—55.

Нестеренко Г. В., Альмухамедов А. П. Титан в пироксенах дифференцированных траппов.— «Геохимия», 1966, № 8, с. 972—979.

Нестерова Ю. С., Арапова Г. А. Методы химического анализа касситерита.— «Тр. ИГЕМ», 1962, вып. 81, с. 23—35.

Нечелюстов Н. В., Попова Н. Н., Минцер Э. Ф. Распределение элементов-примесей в процессе гипогенного минералообразования в свинцово-цинковых и медно-молибденовых месторождениях Карамазара.— «Тр. ИМГРЭ АН СССР», 1961, вып. 5, с. 3—42.

Новикова Т. И. Некоторые данные об антимонитах из месторождений Центрального Таджикистана.— «Тр. ин-та геол. АН Тадж. ССР», т. 6, 1962, с. 180—191.

Новохатский И. П., Калинин С. К. О нахождении таллия в силикатах земной коры.— «Докл. АН СССР», т. 56, № 8, 1947, с. 831—838.

Новохатский И. П., Калинин С. К., Замятина Г. М. О содержании германия в магматических и измененных породах Казахстана.— «Изв. АН КазССР. Сер. геол.», 1968, № 1, с. 81—85.

Нокколдс С. Р., Митчелл Р. Л. Геохимия некоторых каледонских интрузивных пород: исследование связи между основными и рассеянными элементами из-

верженных пород и их минералов. — В кн.: Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах. М., Изд-во иностр. лит., 1952, с. 295—366.

Овчинников Л. Н. Руды Турьинских скарновых месторождений меди. — «Тр. горно-геол. УФАН СССР», 1948, вып. 15, с. 119—121.

Овчинников Л. Н. Феррогортнолит из скарнов Первого Северного Рудника. — «Докл. АН СССР», т. 67, № 6, 1949, с. 1085—1088.

Овчинников Л. Н. Закономерности распределения элементов-примесей в контактово-метасоматических месторождениях. — «Тр. горно-геол. ин-та УФАН СССР», 1959, вып. 32, с. 151—161.

Овчинников Л. Н. Контактво-метасоматические месторождения Среднего и Северного Урала. Свердловск, 1960, 495 с.

Одикадзе Г. Л. О нахождении ниобия и тантала в мусковитах из пегматитов Дзирульского кристаллического массива. — «Геохимия», 1958, № 4, с. 380—383.

Одикадзе Г. Л. О содержании лития, рубидия, цезия и таллия в некоторых интрузивных породах и минералах Шрошинского пегматитового поля. (Дзирульский кристаллический массив). — «Тр. КАЗИМС», 1960, вып. II (4), с. 69—78.

Одикадзе Г. Л. Распределение лития, рубидия и цезия в минералах пегматитов и метасоматически измененных гранитов Ваза-Хохского массива (Северная Осетия). — «Геохимия», 1963, № 4, с. 434—436.

Одикадзе Г. Л. Распределение тантала, ниобия, олова и фтора в слюдах из гранитоидов Большого Кавказа и Дзирульского кристаллического массива. — «Геохимия», 1967, № 8, с. 916—926.

Омельченко Ф. Н. О литии в слюдах из амазонитовых пегматитов Ильменских гор. — «Науч. зап. Львов. политехн. ин-та», 1966, № 1. (сер. геол.-развед., вып. 46), с. 94—98.

Онис Х., Санделл Э. Б. Геохимия мышьяка. — В кн.: Геохимия редких элементов. М., Изд-во иностр. лит. 1959, с. 435—492.

Онтоев Д. О., Здобнова С. И., Дудыкина А. С. Некоторые закономерности в распределении редких щелочей (лития, рубидия, цезия) и других элементов-примесей в слюдах редкометалльных месторождений Джидинского рудного поля. — «Изв. АН СССР. Сер. геол.», 1968, № 3, с. 95—108.

Осипов Д. К., Журавлев Р. С. Уран и торий в магматических породах Кузбасса. — «Геохимия», 1965, № 5, с. 619—624.

Отрощенко В. Д. К геохимии бора и цезия в связи с вулканогенными породами западного Тянь-Шаня. — «Геохимия», 1967, № 8, с. 964—970.

Очерки геохимии эндогенных и гипергенных процессов. М., «Наука», 1966, 335 с.

Павленко А. С., Вайнштейн Э. Е., Туранская Н. В. О некоторых закономерностях поведения редких земель и иттрия в магматических и постмагматических процессах. — «Геохимия», 1959, № 4, с. 291—309.

Павлова И. Г., Рундквист Д. В. О распределении лития, рубидия, цезия в бериллах и мусковитах пневматолито-гидротермальных месторождений. — «Зап. Всесоюз. минер. об-ва», ч. 90, вып. 5, 1961, с. 563—567.

Пампура В. Д. Поведение рубидия, лития, бария и стронция в процессах окорудного метасоматоза гранитоидов. — В кн.: Геохимия и петрология магматических и метасоматических образований. М., «Наука», 1965, с. 161—174.

Перчук Л. Л. Вариации составов бедных кальцием Fe, Mg, Mn — минералов щелочных пород. — В кн.: Метасоматизм и другие вопросы физико-химической петрологии. М., «Наука», 1968, с. 96—137.

Перчук Л. Л. Равновесие породообразующих минералов. М., «Наука», 1970, 391 с.

Петрова М. Г. Некоторые минералого-геохимические особенности зоны экзоконтакта интрузива аляскитовых гранитов. — «Изв. вузов. Сер. геол. и развед.», 1966, № 6, с. 36—44.

Петрова З. И., Легейдо В. А. К геохимии олова в магматическом процессе. — «Геохимия», 1965, № 4, с. 482—489.

Петрова З. И., Петров Л. Л. Бериллий в минералах гранитоидов. — «Геохимия», 1965, № 5, с. 629—632.

Пинус Г. В., Колесник Ю. Н. Альпинотипные гипербазиты юга Сибири. М., «Наука», 1966, 211 с.

Поляков А. И., Кот Г. А. Распределение тория по минералам в нефелиновых сиенитах Ловозерского массива. — «Геохимия», 1965, № 1, с. 73—85.

Попова Н. Н., Нечелюстов Н. В., Разина И. С. Редкие элементы в молибдено-вольфрамитовых месторождениях Центрального Казахстана. — В кн.: Формы нахождения и особенности распределения редких элементов в некоторых типах гидротермальных месторождений. М., «Наука», 1966, с. 5—51.

Пополитов Э. И. К вопросу о поведении олова в пегматитовом процессе. — В кн.: Геохимия редких элементов в изверженных горных породах. М., «Наука», 1964, с. 124—130.

Пополитов Э. И., Петров А. Л., Коваленко В. И. К геохимии бериллия в среднепалеозойских интрузиях северо-восточной Тувы. — «Геохимия», 1967, № 7, с. 813—821.

Потапьев В. В. и др. Геохимические признаки танталового оруденения в гранитах. — «Докл. АН СССР», т. 173, № 4, 1967, с. 923—925.

Рабинович А. В., Баскова З. А. Характер распределения свинца в некоторых гранитоидах Восточного Забайкалья. — «Геохимия», 1959, № 6, с. 546—549.

Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М., Изд-во иностр. лит., 1962, 1132 с.

Расс И. Т. Распределение редкоземельных элементов в сосуществующих минералах щелочно-ультраосновных пород. — «Геохимия», 1970, № 1, 96—103.

Распределение редких земель в литосфере и космосе. М., «Мир», 1968, 187 с. Авт.: Л. А. Хэскин, Ф. А. Фрей, Р. А. Шмитт, Р. Х. Слат.

Редкие элементы в изверженных породах и минералах. М., Изд-во иностр. лит., 1952, 399 с.

Родионов Д. А., Иванов В. В. Статистические оценки средних содержаний по совокупности наблюдений разной представительности. — «Геохимия», 1967, № 1, с. 109—117.

Розанов К. И., Золотарев Б. П. Особенности распределения акцессорных минералов и редких элементов в метасоматически измененных гранитоидах. — В кн.: Особенности распределения редких элементов в изверженных горных породах. М., ИМГРЭ, 1970, с. 33—63.

Руб М. Г. Гранитоиды Приханкайского района и основные черты их металлоносности. М., Изд-во АН СССР, 1960, 359 с.

Руб М. Г. Особенности вещественного состава и генезис рудоносных вулканоплутонических комплексов. М., «Наука», 1970, 363 с.

Руб М. Г., Онихимовский В. В. Гранитоиды Мяо-Чанского района и связанные с ними постмагматические образования. М., Изд-во АН СССР, 1962, 171 с.

Рудовская Л. Н. К геохимии гранитных пегматитов северо-западного Беломорья. — «Геохимия», № 6, 1964, с. 529—541.

Рябчиков И. Д., Соловьев Б. А. К геохимии рубидия и лития в слюдоносных пегматитах Карелии. — «Геохимия», 1961, № 4, с. 316—323.

Самойлова Н. В. Петрохимические особенности ассоциации ийолито-мельтейгитовых пород и нефелиновых сиенитов (на примере щелочной интрузии Енисейского кряжа). — «Тр. ИГЕМ», 1962, вып. 76, с. 143—169.

Саркисян С. Ш., Шубладзе Р. Л. Оливин из долеритов Южной Грузии. — «Зап. Всесоюз. минер. об-ва», 494, вып. 2, 1964, с. 230—232.

Сафронова Г. П. Геохимические критерии в изучении генезиса слюдоносных пегматитов Северной Карелии. — «Геохимия», 1966, № 11, с. 1340—1348.

Сафронова Г. П. Особенности распределения некоторых акцессорных элементов в карельском мусковите. — В кн.: Вопросы геологии и закономерности размещения полезных ископаемых на территории Карелии. Петрозаводск, Карельское книж. изд-во, 1966, с. 356—369.

Свешникова Е. В. Закономерности поведения некоторых групп химических элементов при формировании нефелиновых сиенитов Енисейского кряжа. — «Тр. ИГЕМ», 1962, вып. 76, с. 125—142.

Свешникова Е. В., Каленчук Г. Е. Литий, рубидий и цезий в щелочных породах Енисейского кряжа. — «Геохимия», 1962, № 12, с. 1055—1065.

Седова И. С., Галибин В. А., Котов Н. В. Этапы кристаллизации и состав калиевых полевых шпатов гранитоидов. — «Докл. АН СССР», т. 185, № 1, 1969, с. 178—180.

Семенов Е. И. Минералогия редких земель. М., Изд-во АН СССР, 1963, 412 с.

Семенов Е. И. Минералогия щелочного массива Илмаусак (Южная Гренландия). — М., «Наука», 1969, 165 с.

Сердюченко Д. П. О некоторых слюдах необычного состава. «Тр. Минер. музея», 1969, вып. 19, с. 70—77.

Серых В. И. К геохимии никеля в гранитоидах. — «Геохимия», 1964, № 9, с. 898—907.

Синдеева Н. Д., Воробьева М. С. Редкие земли в серно- и медноколчеданных месторождениях. — В кн.: Генетические типы месторождений редких элементов. М., «Наука», т. III, с. 391—413.

Сиротин К. М. Элементы-примеси в гранитоидах Орского Зауралья. — «Геохим. сб. Саратов. ун-та», вып. 4, 1969, с. 34—77.

Ситнин А. А. Распределение редких элементов в амазонитовых гранитах Этыкинского массива (Восточное Забайкалье). — «Геохимия», 1960, № 4, с. 305—314.

Ситнин А. А. О содержании тантала и ниобия в слюдах из гранитоидов СССР. — «Геохимия», 1966, № 9, с. 1063—1069.

Ситнин А. А., Разина И. С. О химическом составе литиевых слюд из метасоматически измененных гранитов. — «Геохимия», 1963, № 7, с. 695—699.

Скрипко К. А., Гребзды Э. М. Химический состав минералов перидотитовых включений в продуктах извержения вулкана Авача. — В кн.: Ксенолиты и гомогенные включения. М., «Наука», 1969, с. 30—35.

Слепнев Ю. С. Особенности распространения некоторых редких элементов в метаморфических породах, гранитах и редкометальных пегматитах Саян. — «Геохимия», 1959, № 3, с. 252—258.

Слепнев Ю. С. Соотношение таллия с рубидием, цезием и калием в метаморфических породах, гранитах и редкометалльных пегматитах Саян. — «Геохимия», 1961, № 4, с. 359—361.

Слепнев Ю. С. О содержании галлия в гранитных пегматитах Саян. — «Геохимия», 1962, № 7, с. 637—639.

Слепнев Ю. С. Геохимические особенности редкометалльных гранитных пегматитов Саян. — «Геохимия», 1964, № 3, с. 242—252.

Слепнев Ю. С., Мелентьев Г. Б. Особенности распределения тантала и ниобия в редкометалльных гранитных пегматитах Саян. — «Геохимия», 1962, № 3, с. 280—284.

Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Краткий курс математической статистики для технических приложений. М., Физматгиз, 1959, 320 с.

Соболев Н. Д., Уханов А. Е., Смирнова Т. А., Алиева О. З. Сравнительное геохимическое изучение ультраосновных массивов в связи с их хромитоносностью. — «Советская геология», 1970, № 1, с. 88—101.

Соболев Р. Н., Ситнин А. А. Тантал, ниобий и редкие щелочи в слюдах из гранитоидов Сарысу-Тенизского водораздела (Центральный Казахстан). — Изв. АН АрмССР. Наука о Земле, т. XXIII, 1970, № 4, с. 69—72.

Соболев Р. Н., Ситнин А. А., Дорохов И. Л. Элементы-примеси в слюдах из гранитоидов Токрауского синклиналии и прилегающих районов Центрального Казахстана. — «Советская геология», 1968, № 9, с. 119—123.

Соболев С. Ф. Распределение циркония в пироксенит-габбро-тоналитовых породах Урала. — В кн.: Материалы 4-й конференции молодых ученых ИМГРЭ. М., 1962, с. 27—34.

Соколова Е. П. Рентгенометрическое изучение слюд группы мусковита. — «Тр. ВСЕГЕИ», 1963, вып. 96, с. 117—258.

Солодов Н. А. О распределении редких элементов в минералах редкометалльных гранитных пегматитов. — «Геохимия», 1958, № 8, с. 749—756.

Солодов Н. А. Распределение щелочных элементов и бериллия в минералах одного из зональных пегматитов Монгольского Алтая. — «Геохимия», 1960, № 8, с. 726—735.

Солодов Н. А. Распределение таллия в минералах по мощности зонального пегматита. — «Геохимия», 1962, № 7, с. 635—637.

Солодов Н. А. Кларки щелочных и редких элементов в гранитных пегматитах. — В кн.: «Особенности распределения редких элементов в пегматитах». М., «Наука», 1969, с. 185—194.

Солодов Н. А., Фабрикова Е. А., Солодова Ю. П. Распределение редких щелочных элементов в минералах. — «Тр. Минер. музея», 1968, вып. 18, с. 123—179.

Сретенская Н. Г. Распределение элементов-примесей в разных генерациях микроклина из пегматитов Восточного Казахстана. — «Докл. АН СССР», № 3, т. 154, 1964, с. 621—623.

Ставров О. Д. Основные черты геохимии лития, рубидия, цезия в процессе становления гранитных интрузивов и связанных с ними пегматитов. — «Геология месторождений редких элементов», вып. 21, М., «Недра», 1963, 142 с.

Ставров О. Д. Новые данные о содержании цезия в минералах. — «Геология месторождений редких элементов», вып. 30, М., «Недра», 1966, с. 143—144.

Ставров О. Д., Знаменский Е. Б. Распределение редких щелочей и элементов-минерализаторов (В, F) в гранитоидах Калбинского массива (Восточный Казахстан). — «Геохимия», 1961, № 12, с. 1108—1114.

Ставров О. Д., Портнов А. М. К геохимии цезия в щелочных породах. — «Геохимия», 1965, № 3, с. 337—342.

Ставров О. Д., Хитров В. Г. Бор в породах и пегматитах Восточных Саян. — «Геохимия», 1960, № 5, с. 405—413.

Ставров О. Д., Хитров В. Г. О возможной геохимической связи цезия с бором. — «Геохимия», 1962, № 1, с. 53—61.

Студеникова З. В., Глинкина М. И., Павленко Л. И. К вопросу о распределении молибдена в интрузивных породах. — «Геохимия», 1957, № 2, с. 113—119.

Таусон Л. В. К геохимии урана в гранитоидах Черновинского массива (Горный Алтай). — «Геохимия», 1956, № 3, с. 9—17.

Таусон Л. В. Геохимия редких элементов в гранитоидах. М., изд-во АН СССР, 1961, 231 с.

Таусон Л. В. Факторы геохимической истории редких элементов в гранитном магматическом процессе. — «Геохимия», 1967, № 11, с. 1310—1319.

Таусон Л. В., Бузаев Н. Н. Геохимия таллия в гранитоидах Сусамырского батолита (Центральный Тянь-Шань). — «Геохимия», 1957, № 7, с. 600—605.

Таусон Л. В., Кравченко Л. А. Особенности распределения свинца и цинка по минералам каледонских гранитоидов Сусамырского батолита (Центральный Тянь-Шань). — «Геохимия», 1956, № 1, с. 81—89.

Таусон Л. В., Ставров О. Д. О геохимии рубидия в гранитоидах. — «Геохимия», 1957, № 8, с. 699—703.

- Таусон Л. В., Студеникова З. В. Закономерности распределения свинца, цинка и молибдена в изверженных горных породах. — В кн.: Геохимия редких элементов в связи с проблемой петрогенезиса. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 64—76.
- Таусон Л. В. и др. Бериллий в мезозойских гранитоидах Восточного Забайкалья. — «Геохимия» 1969, № 8, с. 952—963.
- Тейлор С. Р., Хейер К. С. Петрологическое значение изменения содержания элементов-примесей в щелочных полевых шпатах. — «Тр. XXI междунар. геол. конгресса», вып. II. М., Изд-во иностр. лит., 1963, с. 227—248.
- Тихомирова Н. И. О распределении редких элементов в метаморфических и гранитизированных породах Ильмено-Кудравинского комплекса на Урале. — В кн.: Редкометальность некоторых метаморфизованных и гранитизированных осадочных комплексов. М., «Наука», 1969, с. 58—78.
- Тихоненков И. П. Генетические типы и классификация месторождений циркония и гафния. — «Тр. ИМГРЭ», 1959, вып. 2, с. 211—229.
- Тихоненкова Р. П., Нечаева И. А., Осокин Е. Д. Петрология калиевых щелочных пород (на примере Сыннырского щелочного массива в Бурятской АССР). М., «Наука», 1971, 219 с.
- Тугаринов А. И., Вайнштейн Э. Е. Закономерности распределения редких земель, циркония и гафния в изверженных горных породах. — В кн.: Геохимия редких элементов в связи с проблемой петрогенезиса. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 20—35.
- Тугаринов А. И., Павленко А. С., Александров И. В. Геохимия щелочного метасоматоза. М., Изд-во АН СССР, 1963, 203 с.
- Ультраосновные и основные интрузии Печенги. М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 357 с. Авт.: Н. А. Елисеев, Г. И. Горбунов, Э. Н. Елисеев.
- Урумбаев К. У. О геохимическом фоне редких щелочей в гранитоидах юго-западных отрогов Чаткальского хребта (Западный Тянь-Шань). — В кн.: Геология, минералогия и геохимия рудных полей Узбекистана. Ташкент, Изд-во ФАН УзбССР, 1970, с. 180—187.
- Уханов А. В. Никель в ультраосновных включениях из кимберлитовых трубок Северной Якутии. — «Геохимия», 1968, № 12, с. 1470—1478.
- Учакин Ю. М., Шиманский А. А., Пауллер Т. И. Содержание редких щелочей в полевых шпатах из пегматитов Саяна. — «Геохимия», 1962, № 8, с. 673—680.
- Фарамазян А. С. Закономерности распределения рения в рудах Каджаранского месторождения. — «Изв. АН АрмССР. Сер. геол. и географ.», вып. XIV, 1961, № 1, с. 39—56.
- Фарамазян А. С., Хуршудян Э. Х. К вопросу об изоморфизме между молибденом и рением в молибденитах. Докл. АН АрмССР, т. 37, 1963, № 4, с. 211—216.
- Ферсман А. Е. Избранные труды, т. 3. М., Изд-во АН СССР, 1955, 799 с.
- Ферштатер Г. Б., Бородин Н. С., Траянова М. В. Литий, рубидий, стронций и свинец в гранитоидах Урала. — «Геохимия», 1969, № 1, с. 72—83.
- Хардер Г. Геохимия бора. М., «Недра», 1965, 136 с.
- Химия комплексных соединений редкоземельных элементов. Киев, «Наукова думка», 1966. 493 с. Авт.: К. Б. Яцимирский, Н. А. Костроминна, З. А. Тека и др.
- Хрущов Н. А., Круглова В. Т., Пенсионорова В. М. и др. Распределение рения, селена, теллура в молибденитовых месторождениях Советского Союза. — «Минеральное сырье», 1960, вып. 1, с. 86—92.
- Четырбоцкая И. И. Танталосодержащие вольфрамиты и касситериты. — «Геология рудных месторождений», т. 8, 1966, № 3, с. 15—30.
- Чуриков В. С. Петрографо-минералогические особенности процесса грейзенизации в Восточно-Коунрадском гранитном массиве. — В кн.: Вопросы магматической геологии. М., «Наука», 1969, с. 131—172.
- Шилин Л. Л. О литиевых слюдах из пегматитов щелочных магм. — «Тр. Минер. музея АН СССР», 1953, вып. 5, с. 153—163.
- Шиманский А. А., Учакин Ю. М. О характере распределения щелочей в микроклинах из пегматитов Восточного Саяна. — «Геохимия», 1962, № 9, с. 833—836.
- Шимер Дж. А. Спектрографические анализы гранитов и пегматитов Новой Англии. — В кн.: Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах. М., Изд-во иностр. лит., 1952, с. 367—381.
- Шмакин Б. М. Геохимические особенности процессов формирования слюдоносных пегматитов Мамского района. — В кн.: Минералогия и генезис пегматитов. М., «Недра», 1965, с. 121—132.
- Шмакин Б. М., Костюкова Е. С. Геохимия бария и стронция в мусковитовых пегматитах Восточной Сибири и Индии. — «Геохимия», 1969, № 10, с. 1224—1237.
- Шмакин Б. М., Макрыгина В. А. Геохимические особенности мусковитовых пегматитов и их контактовых ореолов. М., «Наука», 1969, 279 с.
- Шмакин Б. М., Кирилов А. И., Рыбакова М. М. К геохимии щелочных металлов в слюдоносных пегматитах. — В кн.: Геохимия редких элементов в изверженных горных породах. М., «Наука», 1964, с. 85—98.
- Шоу Д. М. Геохимия таллия. — В кн.: Геохимия редких элементов. М., Изд-во иностр. лит., 1959, с. 335—409.
- Шоу Д. М. Геохимия микроэлементов кристаллических пород. М., «Недра», 1969, 207 с.

- Штрунц Х. Минералогические таблицы. М., Госгортехиздат, 1962, 552 с.
- Щерба Г. Н., Замятина Г. М., Калинин С. К., Мухля К. А. Германий в некоторых грейзенах Казахстана. — «Геохимия», 1966, № 11, с. 1365—1368.
- Щербаков Ю. Г., Пережогин Г. А. К геохимии золота. — «Геохимия», 1964, № 6, с. 518—528.
- Эфендиев Г. Х., Абдулаев З. Б., Бабаева З. Э. Скандий в ультраосновных породах Малого Кавказа (Азербайджанская ССР). «Геохимия», 1966, № 12, с. 1457—1462.
- Юшко-Захарова О. Е. Геохимия и минералогия селена и теллура в медно-никелевых месторождениях. М., «Наука», 1964, 112 с.
- Юшко-Захарова О. Е. и др. К геохимии элементов платиновой группы. — «Геохимия», 1967, № 11, с. 1381—1394.
- Adamson O. J. Minerals of the Varuträsk pegmatite, XXXI. The feldspargroup. Geol. fören Stockholm Förr., vol. 64, 1942 p. 19—54.
- Ahrens L. H. The unique association of thalium and rubidium in minerals. J. Geol., vol. 56, 1948, p. 578—590.
- Ahrens L. H., Liebenberg W. R. «Lihium in mica and feldspcor». Tr. Geol. Soc. S. Africa, vol. 48, 1945, p. 75—82.
- Akimoto S., Nagata T., Katsura T. The  $TiFe_2O_5$ — $Ti_2FeO_5$  solid solution series, Nature, 1957, vol. 179, N 37, p. 37—38.
- Arrhenius G. e. a. Phase chemistry, structure and radiation effects in lunar samples. «Science», 1970, vol. 167, N 39, 18, p. 659—661.
- Borisenko L. F. «Trace elements in pyroxenes and amphiboles from iltramatic rocks of Urals». Mining Mag., vol. 36, N 279, 1967, p. 403—410.
- Borley G. D. Amphiboles from the Younger Granites of Nigeria. Mining Mag., vol. 33, N 260, 1963, p. 358—376.
- Bragg W. L., Brown G. B. Die Struktur des Olivins. Zeit. Krist., Bd. 63, 1926. S. 538.
- Buerger M. I. Derivative crystal structures. J. Chem. Phys., vol. 15, N 1, 1947, p. 1—16.
- Carstens H. The origin of feldspar inclusions in the lamprophyres off Kristiansand. South Norway. Norsk. Geol. Tidssk., Bd. 38, N 2, 1958, S. 245—252.
- Cornwall H. R., Rose H. I. Minor elements in Keweenaw lavas Michigan. Geoch. Cosm. Acta, vol. 12, N 3, 1957, p. 209—224.
- Davidson D. E. Selenium in some Epithermal Deposits of Antimony, Mercury and Silver and Gold. Geol. survey bulletin 1112-A. Washington, 1960, p. 69—81.
- De Vore G. W. Crystal growth and the distribution of elements. J. Geol., vol. 63, N 471, 1955, p. 471—494.
- Deleon G., Ahrens L. H. The distribution of Li, Rb, Cs and Pb in some Iugoslav granitas Geochim et Cosmochim Acta, vol. 12, 1957, p. 94—102.
- Eckermann H. The distribution of Ba and Sr in the rocks and minerals of the syenitic and alkaline rocks of Alnösland. Arkiv for miner. Geol. Bd. 1, N 13, H. 34, 1952, s. 367—375.
- Erämetsä O., Sahama T. G. and Kanula V. Spektrographische Bestimmungen an Rubidium und caesium in einigen finnischen Mineralien und Jesteinen. Comm. geol. Finlande Bull. Bd. 128, 1941, s. 80—86.
- Erickson R. L., Blade L. V. Geochemistry and Petrology of the Alkalic Igneous Complex at Magnet Cove, Arkansas. Geological Survey professional paper, 425. United States government printing Office, Washington, 1963. P. 95.
- Ernst W. G. Significance of phengitic micas from low-grade schists. Amer. miner., vol. 48, N 11—12, 1963, p. 1357—1373.
- Fairbairn H. W., Ahrens L. H. and Lorraine G. Minor element content of Ontario diabase. Geochim et Cosmochim Acta, vol. 3, N 1, 1963, p. 34—46.
- Fron del C., Ito I. Geochemistry of germanium in the oxidized zone of the Tsumeb—mine Amer., Miner. vol. 2, N 11—12, 1957, p. 743—753.
- Goldschmidt W. M. Geochemistry. London, 1954, S. 731.
- Haggerty S. E., Boyd F. R., Bell P. M. e. a. Irontitanium oxides and olivine from 10021 and 10071. «Science», 1970, vol. 167, N 3918, p. 613—615.
- Heier K. S. Some crystallo-chemical relation of Nefelines and Feldspars on Stjerloy N. Norvay. J. Petr., 1966, vol. 7, N 1, p. 39—57.
- Heier K. S. and Taylor S. R. Distribution of Li, Na, K, Rb, Cs, Pb, Tl in Southern Norwegian pre-Cambrian alkali feldspares. Geochim. et Cosmochim. Acta, vol. 15, N 4, 1959, p. 284—304.
- Heier K. S. and Taylor S. R. Distribution of Ca, Sr and Ba in Southern Norwegian pre-Cambrian alkali feldspars. Geochim. et Cosmochim. Acta, vol. 17, N 3/4, 1959, p. 286—304.
- Heinrich E. W. Studies in the mica group. Amer. Jour. of Science, vol. 244, 1946, p. 25—49.
- Heinrich E. W. Micas of the Brown Derby pegmatites gunnison Country, Colorado. Amer. mineralogist, 1967, vol. 52, N 7—8, P. 1578.
- Herzog L. F. and Pinson W. H. The Sr and Rb Content of the granite G-1 and diabase W-1. Geochim et Cosmochim Acta., vol. 8, 1956, p. 295—298.

Hess. Orthopyroxenes of the Bushveld type ion substitutions and changes in unit cell dimensions. *Amer. Journ. Science* 1952. Bowen vol. Pt. 1, p. 173—187.

Hifazi H. The Trace Elements of the plutonic complex of Doon (Scuth. Scotland) and their petrogenetic significance *Journ. Geol.*, vol. 62, N 2, 1954, p. 172—181.

Howie R. A. The geochemistry of the charnockite series of Madras. *India. Trans. Roy. Soc. Edinburgh*, vol. 62, 1943—1955, p. 725—768.

Hückerholz H. G. Die Verteilung des Niobs in den Gesteinen und Mineralen der Alkalibasalt. *Assoziation der Hoheifel. Geoch. Cosm. Acta*, vol. 29, N 8, 1965, p. 807—820.

Kretz R. The distribution of certain element among coexisting calcic amphiboles and biotites in skarns. *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 20, N 3—4, 1960, p. 161—191.

Kushihiro Ikuo, Nakamuro Yasuo, Haramura Hiroshi, Akimoto Syun-ichi. Crystallization of some lunar mafic magmas and generation of rhyolitic liquid. *«Sciences»*, 1970, vol. 167, N 3918, p. 610—612.

Kretz R. Chemical study of garnet biotite and hornblende from gneisses of South-western Quebec with emphasis on distribution of elements in coexisting minerals. *Journ. Geol.*, vol. 67, N 4, 1959, p. 371—402.

Mercy E., O'Hara M. J. Distribution of Mn, Cr, Ti and Ni in coexisting minerals of ultrabasic rocks. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, vol. 31, N 12, 1967, p. 2331—2341.

Miyashiro Akiho. Notes on rocks-forming minerals 32. Geochemistry of oxygen and the origin of native iron and native nickel—iron. *J. Geol. Soc. Japan*, vol. 70, N 828, 1964, p. 493—499.

Moritz H. Die sulfidischen Erze der Tzumb-Mine von Ausgehenden bis Zur XVI Sohle-N. *Jarb. Miner. Abh. Bcil—Bd. 67, N 1, 1933, s. 118—154.*

Moxham R. L. Distribution of miner elements in coexisting hornblendes and biotites. *Canad. Miner.*, vol. 8, 1965, pt. 2, p. 204—240.

Neumann H. The scandium content of some norwegian minerals. *Norsk. Geol. Tidssk.*, bd. 41, N 2—4, 1961, s. 197—210.

Nickel E. H. The distribution of mayor and minor elements among same coexisting ferro-magnesian silicates. *Am. miner.*, vol. 39, N 5/6, 1954, p. 486—493.

Nockolds S. R., Mitchell R. L. The geochemistry of some Caledonium plutonic rocks: a study in the relationship between the major and trace elements of igneous rocks and their minerals. *Trans Roy. Soc. Edinburgh*, 1948, vol. 61, pt. 2, p. 533—575.

Nockolds S. R. and Allen R. Geochemistry of some igneous rock series. *Geochim. et cosmochim. Acta*, vol. 4, N 3, 1953, series 11, vol. 5, N 6, 1954, series 111, vol. 9, N 1/2, 1956, p. 105—142.

Noddack J., Z. Anorg. Allget. Chem., 1965, vol. 225, P, 337.

Oftedal I. Regional distribution of lead South Norwegian granitic rocks *Nirsk Geol. Tidsskr.*, vol. 33, 1954, p. 153—161.

O'Hara. Garnet-Hornblende-Pyroxene rock from Glenelg Inverness shire *Geol. Mag.*, vol. 97, N 2, 1960, p. 145—156.

Ramberg H. Chemical bonds and distribution of cations in silicates. *J. Geol.*, vol. 60, N 4, 1952, p. 331—355.

Ramberg H., Le Vore G. The distribution of Fe<sup>+2</sup> and Mg<sup>+2</sup> in coexisting olivines and pyroxenes. *J. Geol.*, vol. 59, N 3, 1951, p. 193—210.

Pauling L., Neumann E. W. The crystal structure of binnite, (Cu, Fe)<sub>12</sub>As<sub>4</sub>S<sub>13</sub> and the chemical composition and structure of minerals of the tetrahedrite group. *Z. Krist. Bd. 88, N 1, 1934, s. 54—62.*

Ringwood A. E. Melting relationships of Ni-Mg olivins and some geochemical implications. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, vol. 10, N 237, 1956, p. 297—303.

Rodgers K. A., Brothers R. N. Olivine, pyroxene, feldspar and spinel in ultramafic nodules from Auckland, New Zealand. *Miner. Magaz. Sert.*, vol. 37, N 287, 1969, p. 375—390.

Ross C. S., Foster M. D., Mayers A. T. Origin of dunites and of olivine-rich inclusions in basaltic rocks. *Amer. Miner.*, vol. 39, N 693, 1954, p. 693—737.

Rost F., Grigel W. Über accessorische Elemente in mittelenropäshen Eklogiten und ihren Mineralum. *Geol. Cosm. Acta*, vol. 28, N 12, 1964, p. 1933—1951.

Sahama Th. G., Hutinen K. Calcium-bearing magnesium-iron olivine. *Amer. Miner.*, vol. 43, N 9—10, 1958, p. 862—871.

Sahama Th. G. and Vähätalo V. X-ray spectrographic study of the rare earths in some Jinnish eruptive rocks and minerals. *Bull. Comm. geol. Finlande*, vol. 26, 1941, p. 50—83.

Sandell E. B. The beryllium content of igneous rocks. *Geochimica Acta*, vol. 2, N 4, 1952, p. 211—216.

Schwander H., Hunziker J., Stern W. Mineralchimie von Helglimmern in den Tessiner Alpen. *Schweiz. mineral. und petrogr. Mitteil.*, 1968, Bd. 48, N 2, s. 357—390.

Sen N., Nockolds S. R. and Allen R. Trace elements in minerals from rocks of the Californian Batholith. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, vol. 16, N 1/3, 1959, p. 58—78.

Schutz D. Petrographisch-geochemische Untersuchungen an Olivinkrollen verschiedener Vorkommen. N Jb., Miner. Abh., Bd. 106, N 2, April, 1967, s. 158—190.

Snyder J. L. Distribution of certain elements in the Dututh complex. *Geochim et Cosmochim Acta*, vol. 16, 1959, p. 276—277.

Stueber A. M. Abundance of K, Rb, Sr and Sr isotopes in ultramafic rocks and minerals from Western North Carolina. *Geochim et Cosmochim Acta*, vol. 33, N 5, 1969, p. 543—554.

Taylor S. R. and Heier K. S. Alkali elements on potash feldspar from the precambrian of Southern Norway. *Geochim et Cosmochim. Acta*, vol. 13, N 4, 1958, p. 293—302.

Towell D. G. a. oth. *J. Geophys. Res.* 1965, vol. 70, p. 3485.

Turekian K. K., Wedepohl K. H. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bull. Geol. Soc. of Amer.*, vol. 72, N 2, 1961, p. 175—192.

Turnock A. C. Spinels. *Ann. Rept. Dir Geophys. Lab., Cornegie Inst. Washington*, Yr. BK, vol. 58, 1959, p. 134—137.

Vernon R. Coexisting cummingtonite and hornblende in an amphibolite from Duchess, Australia. *Am. miner.*, vol. 47, N 3/4, 1962, p. 360—370.

Wager L. R., Mitchell R. L. The distribution of trace elements during strong differentiation of basic magma. *Geochim et Cosmochim Acta*, vol. 1, N 129, 1951, p. 129—208.

Wilshire H. J., Binns R. A. Basic and ultrabasic xenolites from volcanic rocks of New South Wales. *J. Petrol.*, vol. 2, 1961, p. 185—208.

**АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ  
ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В МИНЕРАЛАХ**

- Барий — 100, 112, 119, 131, 138, 139, 142, 146, 158, 159, 172, 179—182, 187, 188, вклейка  
Бериллий — 94, 97, 99, 115, 132, 138, 139, 142, 146, 158, 159, 172, 179—182, 187, 188  
Бор — 101, 132, 133, 138, 139, 142, 147, 166, 168, 183, вклейка  
Ванадий — 101, 103, 105, 108, 111, 113, 120, 135, 138, 139, 142, 171, 183, вклейка  
Висмут — 10, 21, 22, 29, 31, 51, 58, 67, 68, 81, вклейка  
Вольфрам — 81, 179—182  
Галлий — 11, 22, 35, 42—45, 62, 65, 67, 68, 71, 72, 78, 90, 95, 97, 1000, 108, 112, 138, 146, 160, 162, 163, 174—176, 178, 188  
Гафний — 87, 88, 183  
Германий — 11, 22, 35, 46, 47, 54, 62, 65, 66, 68, 71, 72, 78, 138, 171, 183, 188, вклейка  
Золото — 23, 73, 74, 80, 183  
Индий — 11—14, 34—38, 54, 62, 65, 67, 68, 71, 72, 78, 79, 88, 89, 94, 95, 171, 183, 188, вклейка  
Иридий — 21, 64, 66  
Иттрий и редкие земли — 88, 89, 94, 116, 117, 127—129, 138, 161, 167, 183, 187, 188  
Кадмий — 11, 18, 34, 35, 39—42, 54, 62, 67, 68, 80, 171, 188  
Кобальт — 11, 22, 51, 63—65, 68, 101, 105, 108, 109, 112, 136, 139  
Литий — 95, 96, 116, 114, 132, 138, 139, 146, 151, 154, 155, 173—176, 186, 188  
Марганец — 101, 105, 108—110, 112, 113, 121, 122, 126, 138, 139, вклейка  
Медь — 73, 74, 80, 101, 112, 135, 137, вклейка  
Молибден — 75, 81, 101, 112, 138, 147, 166, 168, вклейка  
Мышьяк — 171  
Никель — 11, 22, 51, 63, 64, 68, 101, 103, 105, 108, 112, 136, 139, 171, вклейка  
Ниобий — 81, 84—86, 91, 93, 95, 101, 124, 125, 138, 139, 178—182, 187, 188  
Олово — 75, 81, 138, 147, 169, 170, 179—182  
Осмий — 21, 64, 66  
Палладий — 11, 19, 20, 34, 51, 58, 62—65, 188  
Платина — 11, 20, 58, 62—65, 188  
Рений — 11, 19, 34, 51, 53, 55, 64, 66, 188  
Родий — 11, 21, 58, 62—65  
Рубидий — 96, 97, 115, 134, 138, 139, 144, 146, 148, 149, 174—177, 186, 188  
Рутений — 21, 64  
Свинец — 74, 81, 101, 123, 135, 138, 147, 169, 170, 183, вклейка  
Селен — 11, 14—16, 27—29, 45, 48, 50, 51, 56—58, 60—62, 64—70, 75—77, 188  
Серебро — 23, 32, 49, 58, 67, 68, 73, 79, 95  
Скандий — 87, 91, 101, 105, 108, 110, 119, 120, 127, 138, 183, 187, 188, вклейка  
Стронций — 97, 98, 108, 112, 113, 118, 131, 138, 147, 161, 165, 183, вклейка  
Таллий — 11, 22, 24—26, 35, 52, 53, 62, 65, 67, 68, 70—72, 77, 78, 95, 101, 138, 146, 156, 157, 174—176, 178, 188  
Тантал — 81—84, 91, 92, 95, 124, 125, 138, 178, 179, 180, 181, 182, 187, 188  
Теллур — 11, 16, 17, 27, 30, 31, 45, 52, 58—62, 64—68, 188  
Титан — 101, 107, 108, 110, 111, 120, 121, 123, 138, вклейка  
Торий — 166, 167, 183  
Уран — 90, 138, 147, 166, 167  
Хром — 101, 107, 108, 111, 112, 137, вклейка  
Цезий — 101, 133, 135, 138, 146, 150, 152, 153, 174—176, 178, 186, 188  
Цинк — 80, 101, 113, 122, 135, 138, 171, 183, вклейка  
Цирконий — 87, 88, 101, 117, 118, 127, 138, 183, вклейка

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение, . . . . .	3
Статистические оценки средних содержаний элементов в минералах <i>В. В. Иванов.</i>	5
Халькопирит <i>В. В. Иванов, О. Е. Юшко-Захарова</i> . . . . .	10
Галенит <i>В. В. Иванов, Р. В. Панфилов</i> . . . . .	23
Сфалерит <i>В. В. Иванов, В. В. Белевитин</i> . . . . .	34
Дисульфиды железа <i>В. В. Иванов, В. В. Белевитин</i>	51
Молибденит <i>В. В. Иванов, Ю. А. Тархов</i> : : : . . . . .	54
Пирротин <i>В. В. Иванов, О. Е. Юшко-Захарова, Ю. А. Тархов</i>	59
Пентландит <i>О. Е. Юшко-Захарова</i>	64
Борнит <i>В. В. Иванов, О. Е. Юшко-Захарова</i> . . . . .	65
Блеклые руды <i>В. В. Иванов</i> . . . . .	67
Антимонит <i>А. С. Великий, В. С. Иванов</i> . . . . .	68
Кинноварь <i>А. С. Великий, В. С. Иванов</i> . . . . .	75
Касситерит <i>В. В. Иванов, И. Е. Максимюк</i> . . . . .	81
Вольфрамит <i>И. Е. Максимюк, В. В. Иванов</i> . . . . .	90
Нефелин <i>Н. С. Самсонова, Е. Д. Осокин</i> . . . . .	95
Оливин <i>Л. Ф. Борисенко, А. В. Лапин</i> . . . . .	102
Пироксены, амфиболы и железисто-магнезиальные слюды <i>А. Ф. Ефимов,</i> <i>А. А. Ганзеев, З. Т. Катаева</i> . . . . .	113
Полевые шпаты <i>Н. И. Тихомирова</i> . . . . .	143
Мусковит <i>Н. П. Смирнова</i> . . . . .	173
Список литературы : : : : . . . . .	191
Алфавитный указатель элементов-примесей в минералах . . . . .	207

### СРЕДНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В МИНЕРАЛАХ

Редактор издательства *Р. В. Добровольская*      Технический редактор *А. Г. Иванова*  
Корректор *И. Н. Таранева*

---

Сдано в набор 21/VIII 1972 г.      Подписано в печать 16/I 1973 г.      Т-01215      Формат 70×108<sup>1/16</sup>  
Бумага № 2      Печ. л. 13,5 с вкл.      Усл. п. л. 18,9      Уч.-изд. л. 19,74      Тираж 1300 экз.  
Заказ № 1177/3925-14      Цена 2 р. 15 к.

---

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, д. 1/19.

---

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете Совета Министров СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли  
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

567