

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА f -РАДИОГРАФИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТИПОМОРФИЗМА ШЕЕЛИТА

Данные о распределении элементов-примесей в минералах имеют важное значение для поисковой минералогии, в которой в качестве критериев перспективной оценки руд используют типоморфные особенности минералов.

Помимо этого, информация о поведении микропримесей в минералах позволяет решать и целый ряд геологических задач: характеризовать глубину эрозионного среза, вертикальный размах оруденения, особенности рудогенерирующих интрузий, интенсивность метасоматической проработки и т. д.

Шеелит является минералом стабильного состава. Содержание элементов-примесей в нем, как правило, очень мало (преимущественно десятые доли процента и менее), и в то же время особенности распределения многих из них (TR, Mo, Nb, Ta, Mn^{2+} и др.) выступают в качестве типоморфных для различных типов месторождений шеелита [1—4].

В литературе данные о содержании и распределении урана в шеелите отсутствуют. По-видимому, это связано с тем, что его содержание в этом минерале ниже предела чувствительности обычно применяемых традиционных методов анализа.

Выполненная работа основана на использовании более точного и чувствительного метода f -радиографии (чувствительность $n \cdot 10^{-8}\%$ [5]), который позволяет получить информацию по содержанию и характеру распределения урана как в самом шеелите, так и в шеелитсодержащей породе в целом. При исследовании использовалось индуцированное деление ядер урана под действием тепловых нейтронов. Облучение производилось в ядерном реакторе. Регистрация осколков деления урана осуществлялась внешними детекторами (лавсановая пленка), которые вплотную прикладывались к исследуемым образцам. Плотность следов от осколков деления на детекторе пропорциональна концентрации урана в анализируемом образце, а их расположение отражает распределение урана на его поверхности.

В своих исследованиях мы подходили к количественной оценке содержания урана в шеелите по трекам исходя из следующей градации: «фонный» уран, фиксируемый редкими равномерно рассеянными треками; уран в микровключениях — локальные точечные участки плотного скопления треков; уран в микротрещинах — сгущения треков по трещинам либо границам зерен минерала. Кроме того, в некоторых случаях наблюдались уплотнения треков с расплывчатыми контурами неясной природы, которые, скорее всего, можно трактовать как косые сечения трещин или как зоны диффузии урана в шеелит, в стороны от невидимых в шлифе трещин. Этот уран, точно не определенной природы, включался в «валовый» уран, суммирующий все количество урана, концентрирующегося в пределах контуров зерен шеелита.

В качестве объекта исследований были использованы петрографические шлифы, характеризующие шеелиты из месторождений разного генезиса и разной рудноформационной принадлежности.

Как известно, шеелит встречается практически во всех генетических классах эндогенных месторождений, начиная с высокотемпературных скарнов и грейзенов и кончая гидротермалитами различных температур образования. В то же время промышленная значимость месторождений шеелита далеко не равнозначна. В настоящее время более половины мировой добычи вольфрама приходится на долю скарново-шеелитовых месторождений. В этом плане выявление определенных типоморфных отличий у шеелитов разного генезиса имеет непосредственно прикладное значение.

Небезынтересно было также проследить поведение урана в шеелитах разной рудноформационной принадлежности, которые согласно систематике вольфрамовых месторождений [6], группируются в три ряда рудных формаций: олово-вольфрамовую, молибден-вольфрамовую и полиметаллически-вольфрамовую.

При исследовании плотности следов от осколков деления урана в шеелитах выявляется, что этот минерал очень беден ураном: содержание валового урана в нем варьирует от $n \cdot 10^{-6}$ до $8 \cdot 10^{-4}\%$, что в ряде случаев даже ниже его содержаний во вмещающих оруденение шеелитоносных породах. Изучение особенностей распределения урана в породах, содержащих шеелит, позволяет сделать вывод, что он входит в шеелит довольно неохотно. Во многих образцах отчетливо видно, что часть урана, содержащегося в породе, концентрируется в акцессорных минералах: цирконе, монаците и др. или скапливается в межзерновых промежутках (рис. 1, а); значительная часть урана рассеивается в темноцветных породообразующих минералах: пироксене, везувиане, хлорите и других, и только небольшая доля этого элемента входит непосредственно в шеелит (рис. 1, б).

Распределение урана в зернах шеелита весьма неоднородно. Наряду с равномерно распределенным «фоновым» ураном, возможно входящим в шеелит изоморфно, наблюдаются локальные точечные участки концентрации урана, связанные с микроскопическими включениями радиоактивных минералов: циркона, монацита и др., не всегда точно диагностируемых из-за малых размеров зерен. Некоторая часть урана, минеральная форма которого данной методикой не улавливается, располагается по трещинкам внутри зерен шеелита либо же приурочена к периферии его зерен (рис. 1, в). Наличие в шеелите «инородных» микровключений урансодержащих минералов, а также отложения их в микротрещинах неизбежно приводят к значительному завышению валового (среднего) содержания урана в шеелите.

Таким образом, полученные данные по распределению урана в шеелите позволяют считать, что определенная часть этого элемента находится в шеелите не в изоморфном виде, а обусловлена наличием других урансодержащих минералов, захваченных зернами шеелита непосредственно при их росте, либо связана с наложенной минерализацией, проникающей в него по трещинкам в результате перераспределения или привноса урана на последующих стадиях эндогенного рудообразования. Более высокие концентрации наложенного урана отмечаются в шеелитах, в ассоциациях, с которыми развиваются минералы, характеризующие наиболее поздние стадии минералообразования (хлорит, перекристаллизованный кальцит и др.).

Что касается возможной изоморфной формы вхождения урана в шеелит, то наиболее вероятная его позиция в структуре минерала — вместе с редкоземельными элементами на месте кальция.

Сопоставление месторождений разных генетических и формационных типов проведено нами на основе распределения в шеелите не только «фоновое», но и наложенного урана, отражающих свойственную месторождениям разных типов специфику эндогенных процессов минералообразования (таблица).

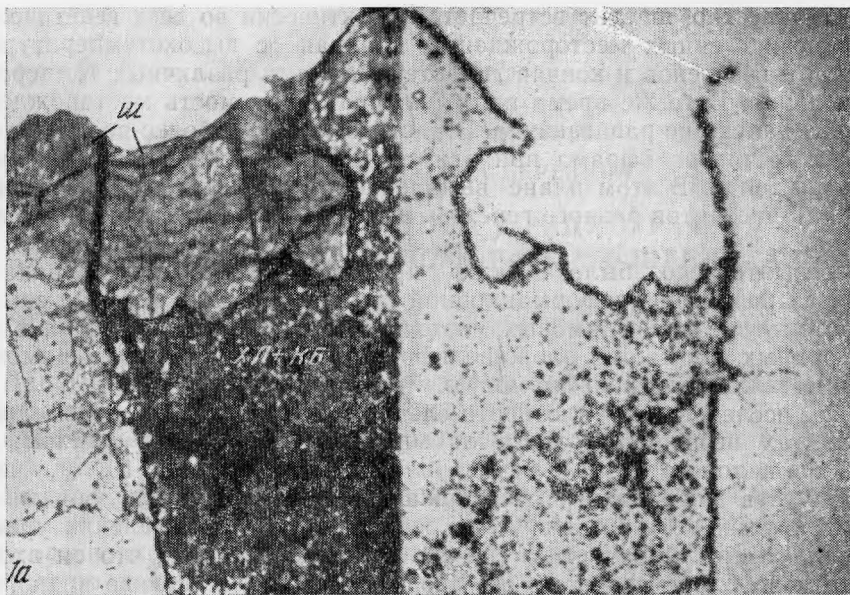


Рис. 1. Распределение урана в шеелите

a — уран сосредоточен в межзерновых промежутках, микротрещинах шеелита (*ш*), в микровключениях циркона (*ц*) и в шеелит-хлорит-карбонатной массе (*хл+кб*) (Туим). Слева — микрофотография участка шлифа, справа — микрофотография соответствующего шлифу участка лавсанового детектора со следами осколков деления урана (черные точки). Увел. 120. Проходящий свет. Интегральный поток тепловых нейтронов $7,2 \cdot 10^{16}$ нейтр./см²; *б* — уран в везувинане (*в*); в шеелите (*ш*) урана мало (Плитнинское); *в* — уран в микротрещинках зерен шеелита (Лермонтовское)

Наиболее низкие содержания рассеянного урана отмечаются в шеелитах из скарновых месторождений (среднее содержание «фонового» урана составляет в них $\sim 3 \cdot 10^{-5}\%$). Для большинства образцов шеелитов этой генетической группы, характеризующих преимущественно высокотемпературные парагенезисы, свойственно почти полное отсутствие урана в микротрещинах. Некоторое увеличение концентраций «фонового» урана и существенное возрастание наложенного урана отмечается в од-

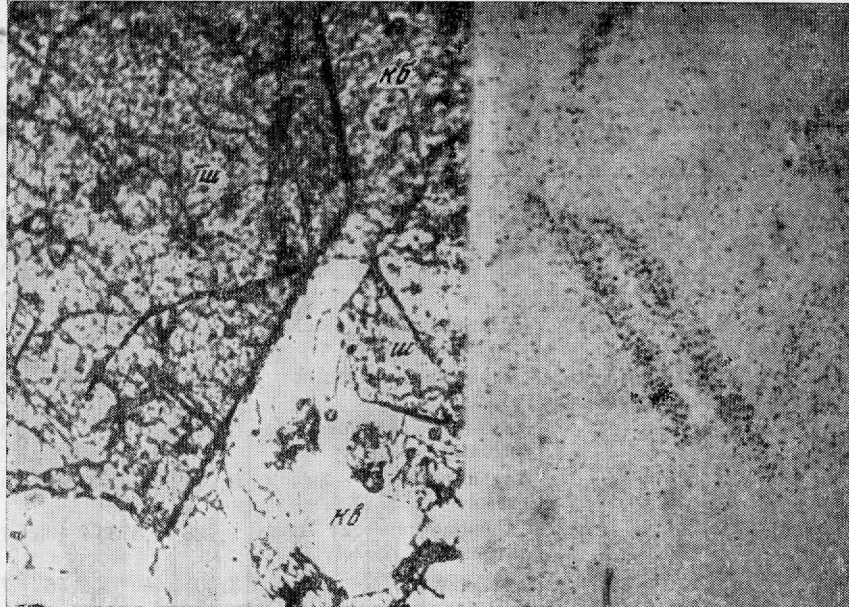


Рис. 1. (окончание)

ной из генераций шеелита Лермонтовского месторождения, относимого в используемой систематике вольфрамовых месторождений к месторождениям скарново-грейзенового типа. Среднее содержание валового урана в шеелитах из более низкотемпературной ассоциации этого месторождения в 5—10 раз выше, чем в продуктивных фациях других скарновых месторождений.

Среди всей группы скарновых месторождений аномально-высокими содержаниями как рассеянного, так и наложенного урана (сосредоточенного и в микровключениях, и микротрещинках) выделяются шеелиты Арыхского и Октябрьского месторождений. Примечательно, что шеелитоносные скарны этих месторождений отличаются высокими содержаниями магнетита. Поскольку окисное железо является хорошим адсорбентом урана, повышенный фон его содержаний в магнетитовых скарнах, очевидно, отразился в относительно большем накоплении урана и в других минералах этих скарнов, в том числе и в шеелите.

В шеелитах из гидротермальных месторождений: кварцево-жильных, штокверковых, шеелитоносных олигоклазитах и образований прочих генетических типов,— содержание урана выше, чем в шеелитах скарнов. Особенно это проявляется в увеличении наложенного урана, сосредоточенного в микротрещинках, что, естественно, отражается на валовом содержании урана в минерале¹ (рис. 2, а). В то же время содержание урана, сосредоточенного в микровключениях в шеелитах этой группы месторождений ниже, чем в шеелитах скарнов. Это вполне отвечает геохимическим особенностям поведения урана в эндогенном процессе, рассеивающегося в высокотемпературных условиях в аксессуарных минералах и образующего собственные соединения при снижении температур минералообразования.

Весьма примечательно, что разные генерации шеелита даже одного и того же месторождения (Лермонтовское) заметно отличаются по харак-

¹ В расчетах средних содержаний урана не учитывались образцы с ураганскими значениями.

Распределение урана в шелите

Месторождение	Рудноформационная принадлежность	Генетический тип оруденения	U, п·10 ⁻⁴ %				
			«Фоновое»	В микро-включениях	В микро-трещинах	«Валовое»	
Лянгар	Олово-вольфрамовая	Скарново-шеелитовый	0,372	0,013	—	0,385	
Яхтон			0,137	0,020	0,004	0,161	
Майхура			0,193	0,004	0,160	0,357	
Ингичке			0,098	0,005	—	0,103	
Латвасюрское	Молибдено-вольфрамовая	Стратиформные скарноиды и скарны	0,674	0,071	—	0,745	
Тырнауз		Скарново-шеелитовый	0,332	0,021	—	0,353	
Чорух-Дайрон		Альбит - скарново-шеелитовый	0,195	0,126	0,041	0,362	
Туим		Кальцит-хлорит - шеелитовый	0,064	—	0,013	0,077	
Октябрьское		Скарново-магнетит - шеелитовый	1,126	1,873	4,495	7,494	
Арыхское		Скарново-шеелитовый	3,40	—	4,46	7,86	
Плитнинское			0,221	0,271	—	0,492	
Горное			0,096	0,072	—	0,169	
Восточное			—	—	—	0,786	
Лермонтовское			Полиметаллически-вольфрамовая	Слюдисто - сульфидно-шеелитовый	0,406	0,087	0,026
Лермонтовское	Слюдисто-кальцит - апатит-шеелитовый		0,271	—	2,496	2,768	
Улуг-Алым	Молибдено-вольфрамовая	Шеелитоносные олигоклазиты	0,196	0,010	0,715	0,921	
Джанет	Олово-вольфрамовая	Кварц - молибденит - флюорит-шеелитовый	0,492	0,063	0,883	1,438	
Торговское		Кварц-полевошпат - вольфрамит-шеелитовый	0,136	—	1,229	1,365	
Торговское		(штокверковый)	0,399	0,042	0,044	0,485	
Синегорское		Кварц-шеелитовый (жильный)	—	—	—	0,471	
Фестивальное		Кварц - касситерит - турмалин - вольфрамит-шеелитовый (штокверковый)	0,914	0,058	0,078	1,050	
Мало-Ангатуйское		Касситерит-вольфрамит-грейзеновый (жильный)	0,77	—	—	0,77	
Рудное		Кварц - полевошпат - вольфрамит-шеелитовый (жильно-штокверковый)	0,102	0,006	—	0,108	
Рудное		Полиметаллически-вольфрамовая	0,272	0,032	—	0,304	
Кайвинское			Кварц-кальцит - антимонит-шеелитовый (жильный)	0,676	0,036	—	0,712
Ильдегем			Молибдено-вольфрамовая	Низкотемпературный сидерит - кварц-хлорит-шеелитовый	7,355	—	0,486

теру распределения и концентрации урана. Относительное повышение концентрации урана свойственно для шеелитов из фаций, которые по особенностям парагенезисов и термометрическим характеристикам сопоставимы с березитами.

Внутри группы гидротермальных месторождений различных температур образования наиболее высокие содержания «фоновое» урана уста-

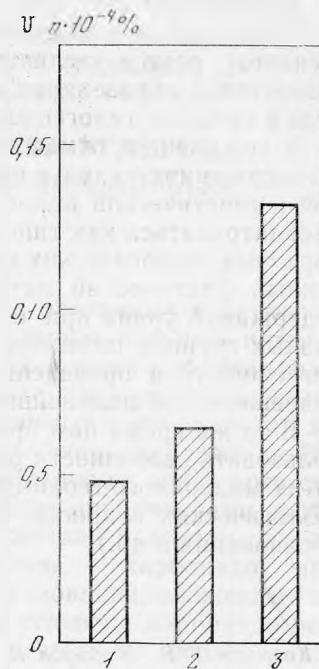
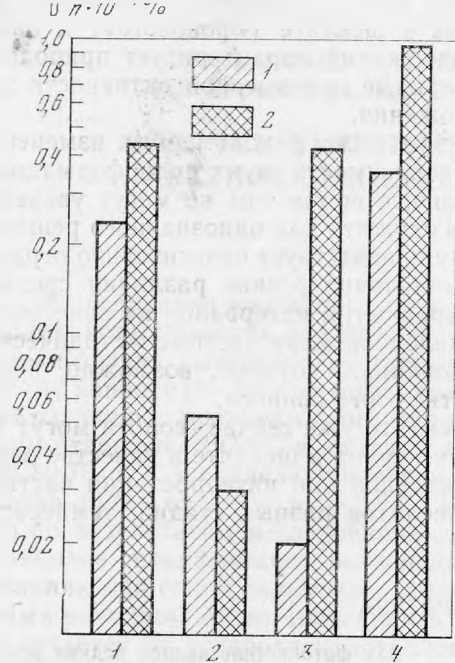


Рис. 2. Среднее содержание урана в шеелитах из месторождений разных генетических типов и рудных формаций

а — средние содержания урана в шеелитах из месторождений разных рудных формаций. I—II — генетические типы месторождений шеелита: I — скарновые, II — прочие гидротермальные месторождения; 1—4 — средние содержания урана в шеелите: 1 — уран «фоновый»; 2 — уран в микровключениях; 3 — уран в микротрещинах, 4 — уран «валовый»; б — средние содержания «валового» урана в шеелитах из месторождений разных рудных формаций: 1 — олово-вольфрамовая формация; 2 — молибдено-вольфрамовая формация; 3 — полиметаллически-вольфрамовая формация

новлены в шеелитах из низкотемпературных фаций Ильдегемского месторождения, которое представляет зону трещиноватости и осветления в роговиках, залеченную минерализованным сидеритом, хлоритом, шеелитом и кварцем. Возможно, что аномально-высокое содержание рассеянного урана в шеелите этого месторождения обусловлено не только особенностями состава рудоносных растворов, но и диффузией урана, проникшего в минерал по дефектам структуры, что подтверждает и характер размещения треков в нем.

Кроме различий ураноносности шеелитов в рудах разной фациально-генетической природы, отмечается закономерное изменение содержаний урана в шеелитах месторождений разных рудных формаций. Средние содержания «валового» урана минимальны в шеелитах олово-вольфрамовой формации, повышаются в шеелитах молибдено-вольфрамовой формации и еще более возрастают в шеелитах месторождений полиметаллически-вольфрамовой формации (рис. 2, б). Связана ли такая закономерность с особыми условиями формирования месторождений той или иной формации, сказать пока что (из-за недостатка материала для статистики) нельзя. Не исключено, что повышенное накопление урана в шеелитах полиметаллически-вольфрамовой формации, как и в случае со скарново-магнетитовыми месторождениями, определяется также и высокой активностью железа при формировании продуктивных ассоциаций этих месторождений.

В целом проведенные исследования по геохимии урана в шеелитах показали возможность применения для этих целей метода f -радиографии.

на очень малые концентрации урана в шеелите («фонового») и наложенного), резкое увеличение его содержания характеризует природные шеелитовые образования, сформированные при высокой активности железа в процессе гипогенного рудоотложения.

К сожалению, отмеченные выше тенденции закономерных изменений в содержаниях урана в шеелитах в зависимости от их рудноформационной и генетической природы в настоящее время еще не могут уверенно рассматриваться как типоморфные и служить для однозначного решения обратных геологических задач. Этому препятствует относительно ограниченный фактический материал, недостаточно резкие различия средних содержаний урана при частичном перекрытии интервалов их значений в разных группах шеелитов и в определенной мере частные методические погрешности в проведенных исследованиях, которые, возможно, будут разрешены при дальнейшей разработке этого вопроса.

В то же время нам представляется, что уже сейчас геологи могут использовать особенности распределения урана в шеелите в качестве одного из минералого-геохимических признаков при интерпретации частных геологических вопросов (отличие шеелитов разных стадий, температур образования и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кононов О. В., Нестеров И. В. Формы вхожд. Mn^{2+} типоморфный признак шеелита.— В кн.: 3-е совещание по минералогии и геохимии вольфрамовых месторождений. Тезисы докладов. ЛГУ, 1971.
2. Кудрина М. А. К вопросу о типохимизме шеелита.— Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, ч. 104. Сер. 2. Л., Наука, 1975, вып. 6.
3. Кудрина М. А. Ниобий и тантал в шеелитах.— В кн.: Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1976. Вып. 25.
4. Горбеев Б. С., Кудрина М. А. Типоморфные особенности шеелита по спектрам фотолуминесценции редких земель. Конституция и свойства минералов. Киев: Наукова думка, 1976. Вып. 10.
5. Берзина И. Г., Берман И. Б., Гурвич М. Ю., Флеров Г. Н., Шимелевич Ю. С. Определение концентрации урана и его пространственного распределения в минералах и горных породах.— Атомная энергия, 1967, т. 23, вып. 6.
6. Апельцин Ф. Р. Формации вольфрамовых месторождений.— В кн.: Принципы прогноза и оценки месторождений полезных ископаемых. Т. 1. М.: Недра, 1977.