

В. В. БУРКОВ, К. В. ПОТЕМКИН, В. И. ПЯТНОВ

**НОВЫЕ ДАННЫЕ
О МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КОР
ВЫВЕТРИВАНИЯ
И РОССЫПЯХ ТАНТАЛА
ЗА РУБЕЖОМ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1972

АКАДЕМИЯ
НАУК СССР

МИНИСТЕРСТВО
ГЕОЛОГИИ СССР

ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

551.311.23/
553.068:549/

В. В. БУРКОВ, К. В. ПОТЕМКИН, В. И. ПЯТНОВ

470

НОВЫЕ ДАННЫЕ
О МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КОР
ВЫВЕТРИВАНИЯ
И РОССЫПЯХ ТАНТАЛА
ЗА РУБЕЖОМ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1972

Новые данные о месторождениях кор выветривания и россыпях тантала за рубежом. Бурков В. В., Потемкин К. В., Пятнов В. И. Изд-во «Наука», 1972 г.

В монографии рассматриваются наиболее интересные зарубежные танталовые месторождения в свете новых литературных данных. Дается оценка отдельных генетических типов различных экзогенных танталовых и комплексных месторождений, и их связь с коренными источниками. Приводится составленная авторами геологическая классификация экзогенных месторождений тантало-ниобатов. Выделяются наиболее интересные типы месторождений и рудопроявлений, которые могут иметь значение для поисков подобных типов месторождений в СССР.

Ответственный редактор
доктор геол.-мин. наук Д. П. Сердюченко

2-9-2

556-72 г.



ПРЕДИСЛОВИЕ

Применение тантала и ниобия в современной промышленности непрерывно возрастает. Эти элементы, характеризующиеся высокой жаропрочностью, антикоррозионной стойкостью и рядом других ценных свойств, все шире применяются в качестве конструкционных материалов в самых современных отраслях промышленности (авиастроение, ракетостроение и др.).

Усиленный спрос на тантал и ниобий привел к интенсивному изучению их месторождений и, соответственно, публикации целой серии работ, посвященных геологии, минералогии и геохимии этих редких элементов. Однако существенный пробел — недостаточная изученность экзогенных месторождений тантала и ниобия, в то время как месторождения именно этого типа за рубежом являются одним из главнейших сырьевых источников тантала.

В связи с этим сотрудниками ИМГРЭ в разных районах СССР были начаты работы, направленные на изучение минералогии и геохимии тантала и ниобия в корях выветривания и россыпях, на выяснение условий образования и закономерностей размещения экзогенных месторождений тантало-ниобатов и на разработку их научно обоснованных поисковых критериев.

Одним из важных направлений этих исследований являлось также обобщение и анализ сведений о зарубежных экзогенных месторождениях тантало-ниобатов. Эти сведения рассредоточены в многочисленных, часто труднодоступных для читателя, изданиях, и ранее не предпринималось попытки их обобщить и критически рассмотреть. Известная сводка Куна (Kun, 1962) касается преимущественно африканских месторождений, почти не освещая другие регионы. Из отечественной литературы лишь в работе М. М. Москевич (1965) освещается состояние сырьевой базы тантала и ниобия за рубежом в целом, но она носит характер экономического обзора. То же можно сказать и о недавно опубликованной статье Н. С. Сазыкина и Л. И. Струговой (1969).

Анализ сведений о зарубежных экзогенных месторождениях тантала и ниобия производился группой сотрудников сектора осадочных и метаморфических месторождений ИМГРЭ (зав. сектором — доктор геол.-минерал. наук Д. П. Сердюченко). Некоторые результаты этой работы были доложены В. В. Бурковым, Т. Ф. Бой-

ко, К. В. Потемкиным, В. И. Пятновым и Е. К. Подпориной на Межведомственном совещании по корам выветривания Урала в Свердловске в 1966 г. (Бурков и др., 1969), а также на VIII Всесоюзном литологическом совещании в г. Москве (Бурков и др., 1968). Впоследствии полученные выводы были дополнены, расширены и уточнены (В. В. Бурков, В. И. Пятнов, 1969). Они, как показал наш опыт работ, могут быть использованы для оценки перспектив танталоносности в различных регионах.

Это позволяет нам надеяться, что суммированные в этой книге материалы могут заинтересовать многих геологов, занимающихся геохимией, минералогией и месторождениями тантала и ниобия. Основное внимание в работе уделено корам выветривания и россыпям, связанным с гранитами и пегматитами, которые имеют наибольшее значение как источники собственно танталового и комплексного тантало-ниобиевого сырья.

Авторы выражают искреннюю благодарность ответственному редактору доктору геол.-минерал. наук Д. П. Сердюченко, В. Н. Разумовой, С. Е. Колотухиной и Н. А. Солодову за просмотр рукописи и сделанные ими ценные замечания.

ГЛАВА I

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ ТАНТАЛА И НИОБИЯ

Ниобий и тантал — элементы пятой группы менделеевской периодической системы. Атомный вес ниобия — 92,91; тантала — 180,95; удельный вес ниобия 8,4—8,5, температура плавления 2500°С, соответственно тантала — 16,5—16,6 и 2850—3000°С. В природных соединениях ниобий и тантал, как правило, пятивалентны; радиусы ионов Nb^{5+} и Ta^{5+} совпадают (0,69Å), что объясняет тесную связь этих элементов в природных процессах.

Кларки ниобия и тантала для литосферы, соответственно, равны 0,0024 и 0,00021% (Rankama, 1947); исследования А. П. Виноградова (1962) дают почти такие же значения кларков — 0,002 и 0,00025%.

По А. П. Виноградову (1962), средние содержания ниобия и тантала в хондритах, соответственно, равны (в %) $3 \cdot 10^{-5}$ и $2 \cdot 10^{-6}$, в ультрабазитах — $1,0 \cdot 10^{-4}$ и $1,8 \cdot 10^{-6}$, в основных породах — $2 \cdot 10^{-3}$ и $4,8 \cdot 10^{-5}$, в средних породах — $2,0 \cdot 10^{-3}$ и $7,0 \cdot 10^{-5}$, в кислых породах — $2 \cdot 10^{-3}$ и $3,5 \cdot 10^{-4}$, в осадочных породах — $2 \cdot 10^{-3}$ и $3,5 \cdot 10^{-4}$.

Основная масса ниобия и тантала в земной коре находится в рассеянной форме и в виде примеси в породообразующих и акцессорных минералах других элементов. Это объясняется изоморфизмом ниобия с титаном, приводящий к почти постоянному нахождению ниобия в титановых минералах. Ниобий часто замещает цирконий, олово, вольфрам. В пироксенах, амфиболах, слюдах и окислах железа ниобий, вероятно, замещает трехвалентное железо, а в лепидолитах, мусковитах и ряде других глиноземистых минералов — алюминий. Так же как и ниобий, тантал обнаруживает склонность к замещению титана, циркония, олова, вольфрама, железа и алюминия в их минералах. Чрезвычайно характерен постоянно проявляющийся в природе изоморфизм и ниобия, и тантала.

Е. М. Еськова и М. В. Кузьменко (1968) указывают на следующие основные тенденции поведения ниобия и тантала в эндогенных процессах.

Повышенные концентрации ниобия обычно связаны с апикальными частями гранитных и щелочных массивов, с пегматитами, альбититами и другими образованиями, для которых характерно высокое содержание летучих компонентов. В эндогенных условиях ниобий мигрирует в форме комплексных фторидных соединений. Обычно наблюдается приуроченность ниобия к наиболее молодым фазам интрузивной деятельности, к хорошо дифференцированным частям интрузий, что говорит о важной роли эманационного процесса и кристаллизационной дифференциации в распределении ниобия.

Собственные минералы ниобия образуются обычно на поздних стадиях процессов эндогенного минералообразования, часто в итоге наложенных метасоматических процессов, что в значительной мере объясняется ограниченным вхождением этого элемента в кристаллизационные структуры главных породобразующих минералов (полевые шпаты, кварц и др.).

Главными факторами, способствующими концентрации тантала в эндогенных образованиях и его отделению от ниобия, являются:

- 1) более ограниченный по сравнению с ниобием изоморфизм с титаном, железом и алюминием, не позволяющий танталу нацело рассеиваться в ходе магматической кристаллизационной дифференциации;

- 2) эманационный процесс, приводящий к концентрации тантала в пегматитах и фторо-литиевых грейзенах;

- 3) кристаллизационная дифференциация пегматитового расплава, приводящая к относительной концентрации тантала к концу пегматитового процесса;

- 4) избирательный изоморфизм ниобия и алюминия в кислой среде в присутствии лития, обуславливающий разделение тантала и ниобия и увеличение концентрации тантала в слюдяных парагенетических комплексах гранитных пегматитов и фторо-литиевых грейзенах.

Геохимия ниобия и тантала в экзогенных процессах изучена плохо. Сейчас еще нельзя нарисовать достаточно убедительную картину их поведения в экзогенных процессах; более того, аналитические данные характеризуют лишь некоторые типы осадочных пород и руд.

Судя по данным А. Б. Ронова и А. А. Мигдисова (1965), ниобий и тантал обычно концентрируются в корях выветривания магматических пород, причем максимальная концентрация характерна для кор выветривания ультрабазитов, минимальная — для кор выветривания гранитов.

В ИМГРЭ особенности поведения ниобия и тантала в процессе выветривания изучались на примере мезозойских кор выветривания Средней Азии (Подпорина, 1968), а также Южного Урала и Северо-Западной Украины. Установлено, что в тех случаях, когда большая часть ниобия и тантала рассеивается в породобразующих минералах гранитов (в основном в слюдах), выветривание

приводит к некоторому, обычно небольшому выносу ниобия. Тантал обладает меньшей подвижностью и в ряде случаев даже относительно накапливается в продуктах выветривания. Дифференциация этих элементов происходит также в процессе сорбции их новообразованными глинистыми минералами. Например, в глинистых фракциях проб кор выветривания гранитов из Средней Азии отношение $Nb_2O_5 : Ta_2O_5$ в среднем равно 1,24, тогда как в валовых пробах из каолиновой зоны оно составляет 3,6.

В наиболее выветрелых породах $\sim 80\%$ содержащихся в них ниобия и тантала фиксируется именно глинистыми минералами (Подпорина, 1968).

В корях выветривания гранитов с самостоятельной тантало-ниобиевой минерализацией, то есть если тантал и ниобий преимущественно концентрируются в устойчивых к выветриванию минералах, дифференциация этих элементов проявляется менее четко. При этом возможно относительное накопление тантало-ниобатов в образующихся элювиальных продуктах.

Причину дифференциации ниобия и тантала в процессе выветривания следует искать в свойствах соединений, в составе которых эти элементы мигрируют в водах кор. Судя по результатам работ С. Р. Крайнова (1968), в щелочных средах, которые весьма характерны для кор выветривания, одной из главных форм миграции ниобия и тантала в водах являются металлоорганические комплексы. Имеются указания на то, что ниобиевые комплексы обладают большей устойчивостью и миграционной способностью, чем металлоорганические комплексы тантала; следовательно, они должны лучше выноситься из кор выветривания.

Более высокая миграционная способность ниобия (по сравнению с танталом) в корях выветривания косвенно подтверждается работами Д. Н. Пачаджанова (1963), который изучал геохимию тантала и ниобия в осадочных глинах на примере яснополянского горизонта и фаменского яруса Русской платформы. Им установлено, что в аридных глинах, сложенных продуктами неглубокого изменения материнских пород, отношение $Nb_2O_5 : Ta_2O_5$ в среднем равно 14,8, тогда как в гумидных глинах, образовавшихся в условиях интенсивного химического разложения первичного материала, это отношение уменьшается до 8,4.

Выводы о распределении тантала и ниобия в осадочных породах и рудах основываются на крайне немногочисленных и, часто, недостаточно достоверных данных. К. Ранкама (Rankama, 1944) определил, что содержание Nb_2O_5 в разных типах осадочных образований составляет (в %): глубоководные морские отложения — 0,0059 (41,9)¹, кластические породы — 0,0018 (9,0), хемогенные породы — 0,00006 (2,6), органогенные породы — 0,00009 (3,8).

В бокситах К. Ранкама обнаружил 0,0005—0,007% Ta_2O_5 , в каолине — 0,01%, в образце диктионемового сланца — 0,0002%, в бокситоносном сланце — 0,0004%, в угле — 0,000001%, в шун-

¹ В скобках дано отношение $Nb_2O_5 : Ta_2O_5$.

гите — 0,00001%, в ледниковых глинах — 0,0002% и в постледниковых глинах — 0,002%.

Повышенное содержание ниобия в бокситах может считаться достаточно твердо установленным фактом. Так, в бокситах СССР в среднем содержится 0,0007—0,0055% Nb_2O_5 и 0,0002—0,002% Ta_2O_5 . Особенно велика концентрация Nb_2O_5 в бокситах из Арканзаса (США) — 0,04—0,08% и в бокситах из Индии — 0,003—0,085% (Холодов, 1966).

В фосфоритах, как утверждает К. Краускопф (1959), содержание ниобия часто в 125 раз превышает его кларк для литосферы, однако В. Н. Холодов и А. С. Корякин (1966), изучавшие распределение редких элементов в платформенных и геосинклинальных фосфоритах, не подтверждают этот вывод. Изучение глауконитов также показало, что ниобий и тантал в них не концентрируются (Ясырев, 1966).

В солях ниобий и тантал обычно не фиксируются анализом, в соленосных глинах из разных районов СССР обнаружены лишь весьма низкие содержания Nb_2O_5 и Ta_2O_5 — в среднем 0,0008% и менее 0,0005% (Бойко, 1966).

Некоторые авторы указывают на повышенное содержание ниобия в железных рудах и железистых кварцитах осадочно-метаморфического происхождения (Рябцев, 1967), однако количественные определения ниобия в этих образованиях в литературе не приводятся.

Наконец, Д. Н. Пачаджанов (Пачаджанов и др., 1963) опубликовал данные, указывающие на некоторую концентрацию ниобия в марганцевых конкрециях из Индийского океана.

В корях выветривания и россыпях встречается ряд минералов ниобия и тантала (табл. 1). Они характеризуются следующими свойствами.

Колумбит-танталит. В эту группу объединяются минералы изоморфных рядов $FeNb_2O_6 - MnNb_2O_6 \rightarrow FeTa_2O_6 - MnTa_2O_6$. Колумбитом принято называть минерал, в котором ниобий преобладает над танталом. В танталите, наоборот, тантал господствует над ниобием. В природе чаще всего встречаются промежуточные члены изоморфного ряда, их обычно называют колумбит-танталитами или танталит-колумбитами по преобладанию тантала или ниобия, соответственно. Сингония преимущественно ромбическая. Спайность ясная, минерал хрупкий. Цвет черный, иногда с побежалостью. Большей частью колумбит-танталит непрозрачный. Танталиты, по преимуществу минералы пегматитовых жил или грейзенов. Колумбиты встречаются в гранитах, пегматитах, грейзенах, редко — в гидротермальных образованиях. Характерен парагенез с касситеритом, реже с вольфрамитом.

Микролит-гатчеттолит-пирохлор. В этой группе обычно выделяются три минерала — пирохлор, бетафит и микролит. Принято считать, что при отношении $Nb+Ta:Ti > 3$ и при преобладании ниобия минерал следует называть пирохлором. При $Nb+Ta:Ti < 3$ и господстве титана минерал является бетафитом.

Минералы тантала и ниобия в корях выветривания и россыпях

Минерал	Формула	Содержание, %			Удельный вес	Твердость по Моосу
		Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	TR ₂ O ₃		
Танталит	(Fe, Mn, Mg) (Nb, Ta, Sn) ₂ O ₆	63—86	0,2—20	—	6,2—8,2	4,2—7,0
Колумбит		0,8—19,0	59—76	—	5,2—6,6	
Микролит	(Ca, Nb) ₂ Ta ₂ O ₆ (O, OH, F)	68,3—80,0	0,5—9	0,2—4,2	4,3—5,9	5,5—6,5
Гатчеттолит	(Ca, U) _{2-x} (Nb, Ta) ₂ O ₆ (OH)	10,0—30,0	24—34	0—5	4,6—4,8	?
Пирохлор	(Na, Ca, U, Ce, Y) _{2-x} (Nb, Ta, Ti) O ₆ (OH, F)	0,2—5,5	52—71	0,2—13,3	3,8—5,0	5,0—5,5
Лопарит	Na, Ce, Ca) (Ti, Nb) O ₃	0,6—0,8	8—20,2	32—34	4,6—4,9	5,5—6,0
Эксенит-поли- краз	(Ca, Ce, Y, U, Th) (Nb, Ta, Ti, Fe) ₂ (O, OH, F) ₆	1—21,5	25,1—33,7	20,8—29,9	4,3—5,9	5,5—6,5
Фергюсонит	(Y, TR, U, Ca, Th) (Nb, Ta, Ti) O ₄	0,9—11,64	38—51,6	33,7—42,6	5,6—7,6	5,5—6,5
Самарскит	(Fe, Y, U) ₂ (Nb, Ti, Ta) ₂ O ₇	5,53—11,18	32,02—43,73	14,36—23,38	5,0—5,69	5,0—6,0

Наконец, если соотношение $(\text{Nb} + \text{Ta})/\text{Ti} < 3$ и тантал преобладает над ниобием, минерал называется микролитом. Гатчеттолитом в последнее время считают минерал с значительным содержанием урана и тантала (до 35%). Сингония минералов кубическая, спайность наблюдается редко, излом неровный. Цвет — от розового до темно-коричневого. Минералы в большинстве слабопрозрачные, трудно растворимые в кислотах. Микролит, гатчеттолит и пироксид типичные минералы апогранитов, карбонатитов и щелочных пород. В пегматитах встречаются реже. В ряде случаев микролит развивается по минералам группы колумбита-танталита и другим тантало-ниобатам. Парагенез с оловом не так характерен, как для минералов группы колумбита-танталита.

Лопарит является сложным окислом натрия, редких земель, кальция, титана и ниобия. Минерал существенно ниобиевый, с содержанием до 20% Nb_2O_5 . Сингония кубическая, спайность несовершенная, хрупкий, темно-бурый. Характерный минерал щелочных сиенитов. Иногда образует россыпи.

Эвксенит-поликраз образует изоморфный ряд, в котором проявлен изоморфизм титана с ниобием. Эвксенитами принято называть минералы, в которых $(\text{Nb}, \text{Ta}_2)\text{O}_5$ преобладают над TiO_2 . Сингония ромбическая. Спайности нет. Цвет черный, коричневатый или буровато-черный, реже зеленоватый, желто-бурый, иногда красно-бурый. Встречается среди гранитных пегматитов и в альбитизированных зонах гранитов.

Фергюсонит — довольно распространенный минерал, обычно он рассеян в магматических породах, пегматитах, пневматолитах, метасоматитах, щелочных сиенитов. Сингония тетрагональная, излом раковистый, хрупкий, спайность отсутствует. Как правило, изотропный, цвет — бурый, буро-коричневый, черный.

Самарскит — сложный титано-тантало-ниобат иттрия, урана и железа. Цвет — черный, блеск смолистый, излом раковистый. Сингония ромбическая. Широко распространен в гранитных пегматитах.

Как видно из приведенных данных, тантало-ниобаты в большинстве случаев по физическим и оптическим свойствам весьма близки между собой и при минералогическом анализе трудно различаются. Обычно достоверно определить темные и непрозрачные тантало-ниобаты можно только при помощи рентгеноструктурного анализа.

ГЛАВА 2

СЫРЬЕВАЯ БАЗА НИОБИЯ И ТАНТАЛА ЗА РУБЕЖОМ

Промышленные эндогенные месторождения ниобия генетически связаны с гранитоидами, нефелиновыми и щелочными сиенитами, щелочными ультрабазитами. Наиболее перспективными являются метасоматически-измененные, биотит-альбитовые колумбитоносные и пневматолито-гидротермальные (альбититы, альбитизированные и карбонатизированные зоны) месторождения в массивах нефелиновых сиенитов. За последние годы выявлен новый промышленный тип эндогенных ниобиевых месторождений — пирохлорсодержащие карбонатиты, что резко улучшило состояние сырьевой базы ниобия.

Среди эндогенных месторождений тантала наибольшее практическое значение имеют редкометальные пегматиты с собственно танталовой минерализацией. Весьма перспективны альбитизированные и грейзенизированные граниты («апограниты»). Тантал является также попутным компонентом в ниобиевых рудах месторождений, связанных с биотит-альбитовыми колумбитоносными гранитами, а также в лопаритовых рудах, связанных с нефелиновыми сиенитами (Кузьменко, Еськова, 1968).

С некоторыми из указанных коренных источников (пегматиты, колумбитоносные граниты) пространственно связаны экзогенные месторождения тантало-ниобатов, характеристике которых и посвящена настоящая работа.

До 1950 г. мировые запасы ниобия без СССР и стран социалистического лагеря оценивались в 20 тыс. т. Nb_2O_5 , однако к настоящему времени они возросли до 9,6 млн. т. Nb_2O_5 , что связано с выявлением новых сырьевых источников — карбонатитовых месторождений (табл. 2). Несомненно, что и эта цифра является заниженной, так как отсутствуют сведения о запасах ниобия в некоторых странах.

Таким образом, ниобий перестал быть остро дефицитным металлом; очевидно разработка карбонатитовых месторождений, с которыми связано до 95% его мировых запасов, сможет полностью удовлетворить потребности современной промышленности. Однако в добыче ниобия доля «традиционных» сырьевых источников (граниты, пегматиты, коры выветривания и россыпи) все же продолжает оставаться значительной, хотя она и обнаруживает

Таблица 2

Запасы и добыча ниобиевых и танталовых

концентратов за рубежом

Страна	Общие запасы (в тыс. т)		Производство							
			1960		1961		1962			
	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅		
Испания	Св. нет	Св. нет	0,4	1,4	—	5,1	—	1,2		
Норвегия	90	—	346,3	—	321,5	—	298,3	—		
Португалия	Св. нет	Св. нет	16,1	15,5	10,2	13,5	19,3	43,5		
ФРГ	7	2	—	—	—	—	—	—		
Малайзия	Св. нет	Св. нет	94,6	—	96,6	—	111,9	—		
Берег Слоновой Кости	"	"	—	—	—	—	—	—		
Кения	210	—	—	—	—	—	—	—		
Республика Заир	465	45	103,4	150,9	51,3	74,6	25,3	103,6		
Мальгашская республика	Св. нет	Св. нет	10,1	—	21,2	—	9,4	—		
Мозамбик	—	0,8	152,3	—	137,6	—	105,7	—		
Нигерия (всего)	430	10	2082,7	11,2	2386,8	11,9	2300,4	17,3		
в том числе из россыпей	400	—	—	—	—	—	—	—		
Родезия	Св. нет	Св. нет	—	49,1	—	60,8	—	72,6		
Руанда	—	2	—	—	—	—	—	—		
Танзания	70	—	—	—	—	—	—	—		
Уганда	600	0,1	—	2,4	—	7,4	—	13,1		
ЮАР	Св. нет	Св. нет	—	6,4	—	9,1	—	3,6		
Намибия (Юго-Западная Африка)	"	"	1,3	3,4	0,3	2,6	0,5	4,7		
Аргентина	Св. нет	Св. нет	—	—	—	2	—	1,6		
Бразилия	6400	9	12	117,1	17,5	120,1	17,3	146,5		
Гвиана	1,2	Св. нет	—	—	—	—	—	—		
Канада	1060	—	—	—	44,1	—	856,9	—		
США	160	2	—	—	—	—	—	—		
Австралия	Св. нет	0,5	10,8	—	14,4	—	19,6	—		
Другие страны	—	—	—	—	—	—	—	—		
Всего	9692	69,4	3190	—	3420	—	4180	—		

концентратов, т

1963		1964		1965		1966		1971 ¹		1968 ²	
Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅
—	—	6,6	—	Св. нет	—	5	6	—	—	—	—
350	—	186	2	150	—	—	—	—	—	—	—
2	33	9,8	14,6	Св. нет	Св. нет	13	30	—	—	—	—
89,5	—	56,9	—	46	—	69	—	84	—	90	—
1,2	—	1,5	—	1,1	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
74,1	66,8	3,5	45,9	46	67	538	4513	30	141	41	154
19,4	—	12,4	—	4,1	—	—	0,5	—	—	—	—
30	129	122,7	47	136,6	36	2264	135	164	—	168	—
2044	15	2376	38	2590	—	—	—	1954	11	2086	14
495	—	579	—	—	—	—	—	—	—	—	—
68,5	—	64,1	—	—	32,6	—	27	—	—	—	—
30	—	3,5	—	Св. нет	Св. нет	—	9	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	7	—	—	8	—	11	—	—	—	—
—	29	—	6,4	—	2	—	2	—	—	—	—
0,2	1,9	1	—	Св. нет	Св. нет	—	0,8	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	2,1	Св. нет	Св. нет	Св. нет	—	—	53	—	—	—	—
19	105	339,1	64,4	1196	100	6581	170	4716	205	5215	206
—	2,3	—	1,9	—	0,4	—	—	—	—	—	—
1190	—	—	2046	—	—	2529	—	1925	—	2041	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	—	13,6	—	—	10	—	5	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	517	11	626	9
3800	452	4 96	235	6074	248	12383	—	9226	532	10099	551

Примечание: Данные с 1960 по 1962 г. взяты из Minerals Yearbook; 1964, данные 1966 г. — из Minerals Yearbook; 1968, v. 1—2 (3—импорт в Юг. В. 1969. (1—предварительные данные, 2—перспективная оценка).

v. 1, Mineral Trade Notes, 1965, № 2, с 1963 по 1965 г.— по Г. С. Ермаковой (США); 1967, 1968—Commodity data Summaries. U. S. Bureau of Mines, Dept. of Inte-

тенденцию к снижению. Так, если в 1960 г. она составляла более 80% от суммарной добычи ниобиевых концентратов, то к 1963 г. доля «традиционных» сырьевых источников снизилась до 50%.

В отличие от ниобия мировые запасы тантала продолжают оставаться весьма ограниченными, в последние годы они удерживаются на уровне 70 тыс. т Ta₂O₅ и, в основном, сосредоточиваются в колумбит-танталитовых рудах (пегматиты, их коры выветривания и россыпи). Значительное суммарное количество тантала

имеется в пироклорных карбонатитовых рудах. Но неблагоприятное соотношение Nb₂O₅:Ta₂O₅, равное 50—70, и связанные с этим трудности технологического извлечения тантала, являются препятствием для рентабельного получения этого элемента из карбонатитовых месторождений (в последние годы выявлены танталонесущие гатчеттолитсодержащие карбонатиты).

Основываясь на зарубежных статистических данных за 1963 г., мы попытались оценить относительную роль разных типов руд при получении танталовых и ниобиевых концентратов.

Судя по данным табл. 3, в 1963 г. до 81% тантала добывалось из пегматитов и их кор выветривания, а 19% — из россыпей, как правило, тоже связанных с пегматитами. Всего на долю экзогенных месторождений приходилось примерно 60% всего добытого тантала. Данные по карбонатитовым рудам при этой оценке не учитывались, поскольку промышленное освоение их лишь начинается.

Таблица 3

Роль эндогенных и экзогенных месторождений в добыче тантала и ниобия, в т (по данным на 1963 г.)

Страны	Пегматиты		Кора выветривания				Россыпи	
			по пегматитам		по гранитам			
	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅
<i>Африка</i>								
Южная Родезия			68,5					
Мозамбик	129,0	30,0	14,0	16,0				
Руанда							74,0	67,0
Конго								
Мальгашская республика	19,4					1549,0	15,0	495,0
Нигерия								
Уганда	3,0	6,0						
ЮАР	29,0							
Юго-Западная Африка	2,0							
Южная Америка								
Бразилия			105,0	19,0				
Аргентина	2,0							
Гвиана							2,3	
Австралия	4,0		10,0					
<i>Азия</i>								
Малайзия								90,0
Всего	188,4	36,0	197,5	35,0	—	1549,0	91,3	652,0
В процентах от суммарной добычи	39,7	1,6	41,3	1,5	—	68,2	19,0	28,7

Основная часть мировой добычи ниобия в 1963 г. (без учета карбонатитов) была связана с разработкой кор выветривания гранитов (68,2%), несколько меньше одной трети добычи падает на долю россыпей. Таким образом, роль экзогенных месторождений в добыче ниобия оказывается еще более значительной, чем в случае с танталом — около 97%.

В приведенной оценке не учитывались карбонатитовые месторождения. Однако необходимо подчеркнуть, что при их разработке за рубежом в первую очередь также используются связанные с ними экзогенные элювиальные образования. Так, на одном

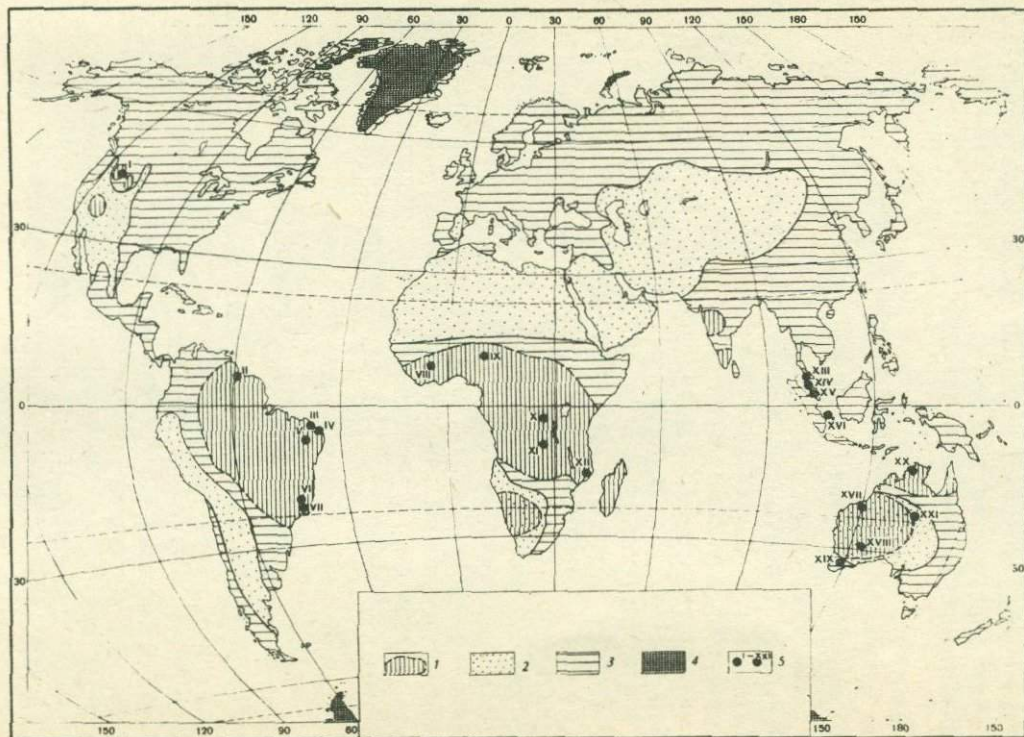


Рис. 1. Главнейшие экзогенные месторождения тантало-ниобатов за рубежом (геологическая основа дана по Н. М. Страхову, 1960)

1 — неогеновые коры выветривания; 2—4 — области современного литогенеза: 2 — аридная, 3 — гумидная, 4 — ледовая; 5 — экзогенные месторождения: I — Бер-Велли, II — бассейн рек Румонг и Марабизи, III — бассейн рек Серидо и Асу, IV — бассейн рек Бикун и Катали де Рочи, V — плато Борборема, VI — р. Вольта-Гранди, VII — месторождения Назарену и Пайол-Риу-Абайшу, VIII — Баук (Берег Слоновой Кости), IX — плато Джос, X — россыпи района Маньема, XI — россыпи района Катанги, XII — россыпи района Альто-Лигонья, XIII — Семилинг, XIV — долина Кинта, XV — Бакри, XVI — острова Билитон, Банка, Сингкеп, XVII — район порта Хелленд (месторождения Стрелли, Волжина, Табба-Табба, Пиллангвуд), XVIII — Лондондерри, XIX — Гринбушес, XX — район порта Дарвин (месторождения Вест-Арт, Бинос-Харбор, Финиш-Ривер), XXI — Барроу-Крик, Линингге, Делни

из крупнейших карбонатитовых месторождений в мире — Баррей-ру-ди-Араша (Бразилия), максимальные содержания ниобия отмечаются в элювии, мощность которого достигает 45 м. Первоочередное практическое значение имеет также разработка элювиальных отложений (кор выветривания) на таких крупных карбонатитовых месторождениях, как Сукулу и Букусу в Уганде, Мбея в Танзании, Луэш в Конго, Мрима-Хилл в Кении, Нкумбе-Хилл в Замбии и других.

Следовательно, экзогенные месторождения являются главным сырьевым источником тантала и ниобия в зарубежных странах.

В нашей работе характеризуются главные геологические черты ряда наиболее интересных в практическом и теоретическом отношении экзогенных месторождений тантало-ниобатов за рубежом (рис. 1). Обзор ведется по географическому принципу — по странам света; в заключительной главе излагаются выводы об условиях образования экзогенных тантало-ниобиевых месторождений и производится их типизация.

Месторождения Европы

В европейских странах не известно значительных экзогенных месторождений тантала и ниобия.

Крупные коренные эндогенные месторождения этих элементов известны в скандинавских странах. Это по преимуществу карбонатитовые и гидротермальные образования с пироксеном (например, месторождение Сёв в районе Фен, Норвегия). Поскольку в ледниковую эпоху этот регион был эродирован ледником, то древние коры выветривания на обширной площади Фено-Скандии не сохранились, и условия для образования россыпных месторождений такого хрупкого минерала, как пироксен были крайне неблагоприятными.

В южных районах Европы, не подвергшихся ледниковой эрозии, известно несколько мелких россыпных месторождений. В Португалии колумбит-танталит в ассоциации с касситеритом и вольфрамитом встречены в россыпях, связанных с пегматитами, у Коминха, Кабракона и Фонтайнхаса. Аналогичные рудопроявления известны в Испании — у Оренсе, Понтеверда и Ла-Корруна (Мосевич, 1965).

Месторождения Северной Америки

В Северной Америке добыча собственных высокосортных танталовых руд почти не производится. Тантал США импортируют из Бразилии и Нигерии. В Канаде известны крупные карбонатитовые месторождения (например, Ока), где в последние годы значительно увеличена добыча пироксеновых руд.

Среди экзогенных месторождений тантало-ниобатов наиболее интересны эвксенитовые россыпи, известные среди рыхлых отложений, локализующихся в пределах батолита Айдахо в одно-

именном штате США. Эвксенит и ряд других тантало-ниобатов был обнаружен при поисках радиоактивного сырья в начале 50-х годов. В процессе этих работ было выявлено россыпное месторождение эвксенита Бэр Велли, эксплуатировавшееся компанией «Портер Брасет». В 1956 г. было получено 98 т ниобиевого концентрата, содержащего 25—30% Nb_2O_5 , в 1957 г.—168 т, в 1958 г.—195 т, в 1959 г.—82 т. В 1960 г. разработка месторождения была прекращена в связи с нерентабельностью.

Поверхность батолита Айдахо представляет собой плато с абсолютными отметками 1500—1800 м, расчлененное глубокими долинами и осложненное в центральной части хребтом северного простирания, имеющим абсолютные высотные отметки до 3000 м. Длина батолита 384 км, ширина 136 км. Батолит сложен преимущественно кислыми породами: гранодиориты, 23%, грубозернистые кварцевые монцитониты 37,5%, мелкозернистые кварцевые монцитониты 25%, тоналиты 9%, темные мелкозернистые кварцевые монцитониты 2%, порфировидные гнейсы 2,5%, кварцевое габбро — меньше 1%, и микрограниты меньше 1%.

Средний абсолютный возраст интрузивных пород батолита — 108 млн. лет, следовательно их образование относится к мелу (Larsen, Schmidt, 1958). Эффузивные породы, известные в пределах батолита, как правило, более молодые. К ним относятся нижнетретичные эффузивы Чели, развитые в восточной части массива, среднетретичные базальты р. Колумбия в его западной и юго-западной частях, а также плиоценовые и современные базальты Снейк в южной части батолита.

В пределах батолита широко развита доплейстоценовая кора выветривания. Видимо процессы выветривания протекали очень интенсивно, так как, по свидетельству Ларсена и Шмидта (Larsen, Schmidt, 1958), породы часто так изменены, что «трудно или даже невозможно определить характер субстрата».

Эвксенитовая россыпь Бэр Велли связана с аллювиальными песками в южной части батолита Айдахо (рис. 2). Среднее содержание полезных компонентов в аллювии (в г/м³): эвксенит — 600, колумбит — 100, монацит — 300, цирконит — 30, гранат — 3000, магнетит — 12000 (Меккин, Шмидт, 1958).

В коренных породах содержание монацита достигает 180 г/м³. Наиболее обогащенные участки обнаружены в кварцевых монцитонитах из долин Бэр Велли, Стенли, Виктор. Максимальное содержание в россыпях — 6000 г/м³ (коэффициент концентрации в россыпи — 33,0). Содержание торита в гранитоидах батолита достигает 3 г/м³, в россыпях — 200 г/м³ (коэффициент концентрации — 66,0).

Эвксенит обнаруживается в гранитоидах батолита преимущественно в виде «следов». Меккин и Шмидт (1958) предполагают, что коренным источником эвксенита Бэр Велли является небольшой участок кварцевых диоритов площадью 15 км². В коре выветривания, развитой здесь, содержится максимум до 30 г/м³ эвксенита, в большинстве же проб содержание эвксенита значи-

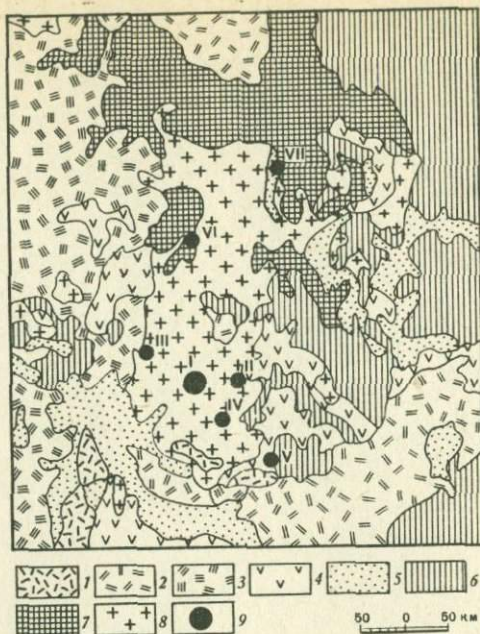


Рис. 2. Геологическая карта района батолита Айдахо

1 — четвертичные лавы; 2 — плиоценовые лавы; 3 — миоценовые базальты, туфы и лавы р. Колумбия; 4 — эоценовые вулканические породы; 5 — неоген континентальный нерасчлененный; 6 — мезозой и палеозой; 7 — докембрий; 8 — гранитоиды батолита Айдахо; 9 — россыпи: I — Бер-Велли, II — Стеяли, III — Каскад, IV — Дисмал Свамп, V — Хейли, VI — Элксити, VII — Виктор

тельно ниже. Максимальное содержание эвксенита в россыпи 2000 г/м³ (коэффициент концентрации — 66,0).

Армстронг (Armstrong, 1959), основываясь на результатах работ Фриклунда, предполагает, что в россыпь Бэр Велли, так же как и в другие россыпи Айдахо, эвксенит и другие тантало-ниобаты поступали из пегматитовых жил, которые распространены в южной части батолита. Так как содержания монацита, с одной стороны, а тантало-ниобатов и торита, с другой, в россыпях Айдахо связаны обратной зависимостью, то можно предположить, что имелись два существенно различных источника тяжелых минералов: монацит очевидно связан с гранитоидами, а тантало-ниобаты и торит — с пегматитами (Weis, Armstrong, Rosenblum, 1958).

В результате четвертичного оледенения доплейстоценовая кора выветривания в значительной части эродирована. Устанавливаются два этапа оледенения — древний (сглаженные морены раннего висконсина) и молодой (моренные валуны позднего висконсина). Висконсинское оледенение отрицательно повлияло на со-

хранность россыпей эвксенита и других тяжелых минералов. По Меккину и Шмидту (1958), аллювий в районах батолита, не затронутых оледенением, содержит до 19 кг/м^3 суммы тяжелых минералов. В районах, не затронутых наиболее интенсивным ранневисконсинским оледенением, но подверженных воздействию ледников позднего висконсина, содержание суммы тяжелых минералов в россыпях уменьшается до 12 кг/м^3 , тогда как в самих моренных поздневисконсинских отложениях оно не превышает 6 кг/м^3 .

Меккин и Шмидт указывают, что в 1,6 км от коренного источника содержание монацита в россыпи Бэр Велли уменьшается на 50%, а содержание эвксенита уменьшается быстрее по сравнению с монацитом. Отсюда можно сделать вывод о том, что содержание эвксенита в россыпи уменьшается вдвое на расстоянии, меньшем чем 1,6 км от коренного источника, однако как скоро происходит снижение его концентраций до уровня непромышленных содержаний, неизвестно.

Меккин и Шмидт (1958) приводят данные, показывающие, как уменьшается размер зерен эвксенита в зависимости от дальности переноса. На расстоянии в 1,6 км размеры зерен уменьшаются в 3 раза, в 8 км — в 8 раз, на дистанции 15 км — в 10 раз, далее в интервале 16—24 км заметного изменения размеров зерен практически уже не происходит. Отсюда можно сделать вывод о том, что в аллювии эвксенит обнаруживается по крайней мере на расстоянии 24 км от источника сноса, что свидетельствует о большей устойчивости этого минерала к истиранию по сравнению с колумбит-танталитом, который обычно переносится не далее, чем на 5 км.

Тем не менее ощутимые концентрации эвксенита ограничены все же пределами батолита Айдахо и его россыпи могут быть отнесены к группе ближнего сноса (по классификации Хераскова, Потемкина и Спицына, 1960). С этим батолитом связана также россыпь Дисмал Свамп, которая разрабатывалась на ниобий в 1953 г. Извлекаемыми минералами был эвксенит, самарскит и колумбит (Armstrong, 1957). Эвксенит, самарскит, бетафит, браннерит и давидит были обнаружены в россыпи, расположенной в 16 км к югу от Элк-Сити, а также в россыпи Стенли в округе Кастер (Armstrong, 1957). При этом в россыпи Элк-Сити, расположенной за пределами массива, отмечаются лишь «следы» эвксенита.

Кроме района батолита Айдахо россыпи, содержащие тантало-ниобаты, известны в некоторых других районах Северной Америки. В частности, эвксенит, колумбит-танталит и микролит (?) найдены в россыпях, связанных с пегматитами в штате Нью-Мексико (США) — в округах Рио-Арриба, Сан-Мигуэль и других. В Аляске ниобиевые минералы обнаружены в ряде оловоносных россыпей (Кейп-Крик, Боулдер-Крик, Дип-Крик, Миллер Галч). Содержание колумбит-танталита в этих россыпях составляет 0,01—0,5%. Чрезвычайно любопытно выявление россыпи пиро-

хлора в западной части бассейна р. Колумбия в Канаде. Предполагается, что терригенные породы аллювиального (?) облика, в которых концентрируется пирохлор, образовались в итоге эрозии гранитного (?) штока Бугабу. Указывается, что запасы пирохлора в россыпи составляют 5,1 тыс. т Nb_2O_5 при среднем содержании 0,8 кг/м³ (Москевич, 1965).

Экзогенными месторождениями тантала и ниобия, связанными с щелочными породами, являются ниобийсодержащие бокситы Арканзаса в США (Gordon, Murata, 1952; Gordon a. oth., 1958), найденные в округах Пулески и Салина, где палеозойские породы прорваны тремя батолитами нефелиновых сиенитов. Сиениты перекрываются осадочными породами палеоцена и нижнего эоцена (группа Вилькоккс); последний представлен бокситами, песками и черными глинами с прослоями сидеритов. Бокситы часто также залегают в углублениях на сиенитах, а также окаймляют массивы этих пород. Эти бокситы являются элювиальными образованиями, возникшими при выветривании нефелиновых сиенитов. Содержание ниобия в бокситах колеблется от 800 до 1600 г/м³; в бокситах также концентрируются цирконий, редкие земли и галлий. Гордон и Мурата (Gordon, Murata, 1952) предполагают, что основная масса ниобия входит в состав тяжелой фракции боксита, где он замещает титан в анатазе, ильмените и рутиле, однако специально формы нахождения ниобия не изучались. При среднем содержании ниобия в бокситах Арканзаса в 1400 г/м³ его запасы составляют 30 тыс. т.

Месторождения Южной Америки

Южная Америка в настоящее время является одним из главных поставщиков высокосортного танталита на мировой рынок. Основные месторождения тантала сосредоточены в Бразилии. Добыча танталита производится здесь в основном из кор выветривания пегматитов и россыпей ближнего сноса. Так в 1963 г. было получено около 150 т этого минерала, что составило 36% его мировой добычи. Часть тантала сейчас добывается из пирохлоровых карбонатов (месторождение Баррейру-ди-Араша).

Добыча танталита в Бразилии производится в двух районах — на северо-востоке страны, и в районе рудника Назарену — на ее юге (штат Минас-Жераис).

Распространение кор выветривания и россыпей в Бразилии в значительной степени определяются климатической зональностью. Мощные коры химического выветривания обычно образуются в зонах влажного тропического климата. В Бразилии эта зона приурочена к береговой низменности, идущей с севера Бразилии до Уругвая. Этот район испытал две эпохи пенепленизации — меловую и третичную (Gillson, 1950), которые сопровождалась образованием кор выветривания. Процесс корообразования продолжается по настоящее время.

Характер экзогенного рудообразования тесно связан с совре-

менным климатом. Годовое количество осадков достигает 3500 мм, среднегодовые температуры здесь изменяются с севера на юг от +27 до 17°. В этих условиях на изверженных и метаморфических породах образуется кора выветривания большой мощности, особенно в штате Минас-Жераис.

Для внутренних частей Бразилии характерен более континентальный климат. Так, на плато Борборема, где расположены основные танталовые месторождения, сезонные температуры влажного и сухого периода составляют +23 и +28°, а количество осадков не превышает 300—450 мм; т. е. этот район представляет собой полупустыню.

Соответственно климатическим зонам располагаются и современные почвы, ярко отражающие характер выветривания. Например, прибрежная полоса Бразилии, являющаяся питающей провинцией современных прибрежно-морских россыпей, покрыта латеритными почвами, которые сменяются в глубь страны красными почвами высокотравных саванн. На севере Бразилии, в районе плато Борборема, преобладают коричнево-красные почвы сухих редколесий и кустарников и красно-бурые почвы опустыненных саванн.

Как уже сказано, одним из главных районов добычи танталита в Бразилии является северо-восточная часть страны. Здесь известны пегматиты с редкометальной минерализацией. Пегматитовые поля сосредоточены на трех участках: в районе плато Борборема (штаты Параиба и Риу-Гранди-ду-Норти), у Кашерамбин и Кашуейра (центр штата Сеара), в районе Каскавелл-Кристалл (север штата Сеара). Геология и месторождения плато Борборема описаны Альмейда (Almeida a. oth., 1944), Джонстоном (Johnston, 1945), Путцером (Putzer, 1957), С. Е. Колотухиной и др. (1968).

Коры выветривания пегматитовых полей северо-востока Бразилии стали разрабатываться только в 40-х годах. К 1941 г. старатели вели добычу касситерита, танталита, берилла и сподумена на 400 жилах.

Плато Борборема находится в зоне периодических засух. Только две реки Вадис и Риу-дос-Пираньяс на громадном пространстве плато не пересыхают. Поверхность плато холмистая, относительные отметки достигают 250 м.

На плато широко распространены докембрийские породы серии Сеара (Putzer, 1957), представленные кварцитами, конгломератовидными слюдяными сланцами, граувакками и аркозами. В нижних горизонтах комплекса встречаются линзы кристаллического известняка и амфиболита. У контакта с кислыми интрузиями известняки часто бывают превращены в шеелитовые скарны. Породы серии Сеара интродуцированы рифейскими микроклинбиотитовыми гранитами. Породы смяты в складки и метаморфизованы в протерозое.

Главное пегматитовое поле Борборемы приурочено к большой сводовой антиклинали северо-восточного простиранья. Пегмати-

ты, в большинстве случаев находятся у экзоконтактов интрузий порфировидных гранитов с крупными кристаллами микроклина. Внутри интрузий они редки. Эрозионный срез гранитов невелик, так как среди них часто встречаются останцы сланцев и кварцитов.

Домеловой эрозией район был превращен в пенеплен, на поверхности которого отложились меловые и третичные песчаники, сохранившиеся сейчас в виде останцов. На плато площадью около 830 тыс. км², насчитывается несколько тысяч пегматитовых тел. Незональные пегматиты не несут промышленного оруденения, которое более характерно для зональных пегматитов. В зональных пегматитах внешняя зона сложена крупными кристаллами мусковита. В ней рудные минералы редки. Ближе к ядру следует зона гигантских кристаллов полевого шпата (чаще всего микроклина), содержащая вкрапленность минералов редких элементов и касситерит. Примыкающая к ядру промежуточная зона сложена огромными кристаллами микроклина, ортоклаза и кварцем. Она содержит основную массу полезных минералов — гигантские кристаллы берилла, сподумена (до 2 м), танталит-колумбит (часто в виде агрегатов весом в несколько килограмм), иногда амблигонит, касситерит, слюду и турмалин. Центральная часть пегматита сложена кварцевым ядром, устойчивым к выветриванию.

Протяженность отдельных пегматитовых тел обычно составляет несколько сотен метров, редко — достигает километра, мощность 30—60 м, иногда 100 м. Зональные пегматиты преимущественно линзовидные, а незональные — образуют узкие плитообразные тела. Размеры главного пегматитового поля 75×50 км.

По гранитам и пегматитам развивается кора выветривания, имеющая небольшую мощность. Ее разрезы представлены лишь зонами щебнистого элювия.

Около 600 пегматитовых жил на плато содержат тантало-ниобаты, берилл и минералы лития. Разрабатывается примерно 150 пегматитовых тел. Эксплуатация пегматитов производится старателями, которые разрабатывают преимущественно элювий пегматитов, их наиболее выветрелую промежуточную зону. Вдоль кварцевого ядра проходят траншеи, иногда глубиной до 15 м. Сначала извлекается щебнистый элювий, а затем разборная порода, до тех пор пока возможно углубляться без взрывных работ.

Среднее содержание танталита в эксплуатируемых жилах около 250 г/т. Рудная масса поднимается наверх, где она измельчается, просеивается и разбирается вручную. Потери очень велики и составляют 50—65%. Один человек отбирает в день около 0,4—1 кг берилла или 100—300 г танталита и 300 г касситерита. Промышленной считается руда с содержанием более 30 г/т Ta₂O₅. Элювий, залегающий на пегматитовых жилах, несколько более обогащен. Содержание танталита здесь иногда достигает 400 г/т. Танталит содержит до 53% Ta₂O₅, 23% Nb₂O₅ и 2,6% SnO₂. Среднее содержание сподумена на плато Борборема 1,5%, а берилла 0,1—0,2%.

Запасы полезных минералов на северо-востоке Бразилии подсчитаны крайне приблизительно. Считают, что месторождения Борборемы содержат около 1000—2000 т танталита, 288 тыс. т берилла и 250 тыс. т сподумена.

Другим районом добычи танталита является штат Минас-Жерайс, расположенный в зоне интенсивного образования кор выветривания. Известные здесь месторождения вначале разрабатывались на олово, но впоследствии обнаружилась и значительная танталоносность этих месторождений.

В южной части штата располагается самый крупный оловоносный район Бразилии. Он находится вблизи города Сан-Жуан-дел-Рей, в 230 км к север-северо-западу от Рио-де-Жанейро. Добыча олова, начавшаяся здесь из россыпных месторождений в 1943 г., к 1955 г. достигла больших масштабов (50% от общей добычи олова в Бразилии).

Район россыпных месторождений представляет собой слабо-волнистую пеплепленизированную равнину с отметками 900—1000 м. Равнину пересекают реки Мортис с северными притоками, Пайол и Риу-Абайшу (Ahlfeld, 1956). Коренными породами района являются докембрийские амфиболовые, тонкозернистые, темно-зеленые граниты, иногда порфириовидные. В ряде случаев они содержат участки смятых в крутые складки амфиболовых сланцев.

Граниты пересекаются многочисленными пегматитовыми жилами кварц-мусковит-полевошпатового состава мощностью до 10 м и мелкими кварцевыми жилами. Сами граниты не содержат касситерита, который концентрируется в небольшом количестве в пегматитах (в ассоциации с монацитом, бериллом и гранатом) в виде пирамидальных кристаллов, имеющих до 7 мм в поперечнике. Содержание касситерита в жилах составляет 0,1—0,2%. Колумбит встречается не во всех пегматитовых жилах.

На поверхности гранитов, сланцев и пегматитов широко развита кора выветривания латеритного типа мощностью 2—15 м. Латеритная верхняя зона переходит в зону сильнокаолинизированных гранитов.

В латеритной коре выветривания содержание касситерита повышается, но касситерит распределен в ней крайне неравномерно. Наиболее обогащенные зоны наблюдаются над пегматитовыми жилами, где содержание касситерита достигает 300—800 г/т (600—1600 г/м³). Гораздо большие количества касситерита содержатся в аллювиальных русловых россыпях рек Пайол и Риу-Абайшу. Особенно богаты пески и галечники, находящиеся на дне озеровидного расширения р. Пайол. Здесь содержание касситерита достигает 2—4 кг/м³ (в верховьях реки оно еще больше).

Добыча касситерита (и, попутно с ним, колумбита) из латеритной коры выветривания производится гидравликами. На шлюзах остаются касситерит, колумбит, магнетит и ильменит. На разработке аллювиальных россыпей применяются отсадочные машины и лотки. Первичные концентраты содержат около 80% SnO₂, более мелкозернистые — до 40%. Касситерит отделяется от магне-

тита и колумбита на магнитном сепараторе. Окончательный концентрат содержит 60—65% касситерита.

На месторождении Пайол и Риу-Абайшу с 1943 по 1955 годы добыто около 1000 т касситеритового концентрата. В настоящее время годовая добыча кустарным способом составляет около 48 т. Сведения о количестве добытого колумбита отсутствуют.

В 45 км от слияния рек Пайол и Мортис расположено месторождение Назарену. Оно открыто в 1948 г. и рассматривалось как убогое оловянное. В 1952 г. здесь был обнаружен танталит в таком большом количестве, что к 1955—56 гг. месторождение по добыче тантала стало одним из первых в мире. Коренные породы в районе месторождения представлены докембрийскими амфиболовыми сланцами. Гранитных интрузий поблизости нет. Сланцы содержат многочисленные, караваеобразные пегматитовые тела, залегающие конкордантно со сланцами и, очевидно, связанные с постминасскими гранитами. Мощность пегматитовых жил достигает 20 м, длина их составляет первые сотни метров, хотя некоторые тела прослежены на несколько километров. Альфельд (Ahlfeld, 1956) подчеркивает, что пегматиты очень своеобразны и скорее напоминают грубозернистые, равномернозернистые граниты. Они сложены полевым шпатом, литийсодержащим мусковитом и кварцем (немного). На глубине, в свежих пегматитах, обнаружен сподумен. Иногда пегматит не содержит полевого шпата, тогда в нем присутствуют крупные зерна касситерита. Содержание касситерита в пегматитах в среднем составляет 750 г/т. Касситерит образует зерна размером 0,1—3,0 мм. Очертания зерен неправильные, особенно когда эти зерна включены в полевые шпаты. Из минералов тантала в пегматитах встречается танталит, образующий зерна неправильной формы, количество его заметно меньше, чем касситерита. Танталит высокосортный, содержит около 50% Ta_2O_5 и 20% Nb_2O_5 . Наряду с танталитом встречается и джалмаит (ураносодержащий танталит от 1—2% UO_3), который образует зерна и кубические кристаллы до 10 мм в поперечнике, светло-серожелтого цвета.

От борборемских пегматитов пегматиты Назарену отличаются значительно большей выветренностью. На поверхность свежие породы выходят очень редко, они, как правило, перекрыты бурым латеритом (1,5—3,0 м), ниже которого следуют разрушенные каолинизированные пегматиты. Максимальная глубина выветривания составляет 30 м (у Вольта-Гранди), средняя 5—15 м. Сверху вниз выделяются следующие зоны: 1) полностью каолинизированный пегматит, 2) «полумягкий» пегматит с частично каолинизированным полевым шпатом, 3) «свежие» почти неизмененные пегматиты. Выветрелые зоны обогащены оловом и танталом. Они легко разрабатываются без применения взрывных работ, касситерит и колумбит легко отделяются от рыхлой породы.

Добыча производится бульдозерами, которые транспортируют каолинизированную мягкую массу к обоганительной установке. Порода промывается на деревянных шлюзах, где вымывается

90% пустой породы, а на порожках остается большая часть касситерита и танталита. Тонкозернистый материал дополнительно обрабатывается на отсадочных машинах и столах Вильфлея. Касситерит отделяется от танталита на магнитных сепараторах. Немagnetный джалмаит уходит в касситеритовый концентрат и извлекается электростатически.

В 50-е годы ежегодная добыча на месторождениях Назарену достигала 130 т касситерита, 48 т танталита и 2,2 т джалмаита.

Кроме этих основных месторождений танталита в шлихах из бассейна ряда мелких рек Южной Америки найдены колумбит, касситерит, джалмаит, самарскит и другие минералы, содержащие тантал.

В Гвиане в дельте р. Румонг и Марабизи (в 100 км к юго-западу от г. Джорджтаун) в россыпях наряду с ильменитом, рутилом и цирконом присутствует колумбит и танталит. Запасы составляют 765 тыс. м³; песков с содержанием концентрата тяжелых минералов в 1,2 кг/м³; концентрат содержит 530 г/м³ Nb₂O₅ и 250 г/м³ Ta₂O₅. Дутра (Dutra, 1962) сообщает, что в Бразилии, в районе Жао-дель-Рой, на р. Вольта-Гранди в песках обнаружено присутствие золота, джалмаита, танталита, касситерита, ильменита, монацита и циркона. Выделен участок в 29 км², в котором содержание полезных минералов достигает (в г/м³): ильменит — 1275, монацит — 75, колумбит — 120, циркон — 170, касситерит — 25, золото — 0,1.

Мелкие аллювиальные россыпи по рекам Серидо и Асу (штат Риу-Гранди-ду-Норти, Бразилия), а также в районе Бикунни и Католи-де-Рочи содержат монацит, бетафит и самарскит. В Аргентине, во внутренних частях страны, реки, текущие с хребта Сьерра-Фертиль, содержат небольшие количества колумбита-танталита в шлихах из аллювия.

Месторождения Африки

В 50-е годы Африка выдвинулась в число основных поставщиков ниобиевого и, в меньшей степени, танталового сырья. Это было связано, в первую очередь, с освоением и эксплуатацией уникальных месторождений колумбитоносных гранитов и россыпей в Нигерии и россыпей с танталитом в Конго.

В Нигерии колумбитоносные коры выветривания и россыпи находятся в пределах плато Джос; они являются одними из крупнейших в мире экзогенных месторождений тантало-ниобатов. Колумбитоносные граниты, являющиеся коренными источниками экзогенного оруденения, были выявлены сравнительно недавно. Однако в россыпях колумбит был обнаружен еще в 1916 г. Долго он считался нежелательной примесью в касситеритовых концентратах этих россыпей, которые разрабатывались на олово, и только в 40-х годах он стал рассматриваться как один из основных полезных компонентов.

Особенно интенсивной добыча колумбита становится после 1946 г.; до последних лет она составляла около 50% от общемировой добычи, причем 70% добываемого в Нигерии колумбита приходилось на долю месторождений плато Джос (табл. 4). До 1954 г. колумбит добывался, в основном, из россыпей, с 1954 г. — преимущественно из кор выветривания гранитов.

Таблица 4

**Добыча колумбитовых концентратов в Нигерии в целом
и на плато Джос, в т.**

Год	Нигерия	Плато Джос	Год	Нигерия	Плато Джос	Год	Нигерия	Плато Джос
1939	431	288	1947	1286	1003	1957	1709	Нет дан- ных
1940	396	277	1948	1096	820	1960	2082	То же
1941	402	257	1949	888	663	1961	2386	"
1942	865	598	1950	864	610	1962	2300	"
1943	802	592	1951	1095	Нет дан- ных	1963	2044	"
1944	2055	1828	1952	1315	То же	1964	2376	"
1945	1571	1334	1954	3152	"	1965	2590	"
1946	1550	1288	1955	3194	"	1966	2221	"

В отечественной литературе о «колумбитоносных» гранитах и, в значительно меньшей степени, о связанных с ними экзогенных образованиях сообщалось Ф. Р. Апельциным и Л. Г. Фельдманом (1958), Э. А. Северовым (1960, 1962), С. Е. Колотухиной и др. (1964). Некоторые сведения приводятся Н. С. Асоян (1963).

Плато Джос — останец древней поверхности, возвышающийся над окружающей равниной на 600—800 м. Несколько хребтов в его пределах осложняют рельеф, наиболее высок хребет Шере (до 1780 м).

Ниобиевое оруденение связывается с биотит-альбитовыми гранитами (колумбит) и с рибекитовыми гранитами (пирохлор).

По данным Мак-Кея, Джекобсон и др. (MacKay a. oth., 1957; Jacobson a. oth., 1958, 1963) плато Джос складывается следующими комплексами пород (от древних к молодым): 1) комплекс основания, 2) комплекс молодых интрузий, 3) флювиовулканическая серия, 4) молодые базальты, 5) элювий и аллювий.

Комплекс основания, распространенный на значительной части плато, представлен метаморфическими докембрийскими образованиями — гнейсами, сланцами, амфиболитами и большим количеством тел древних гранитов. Под названием «древних гранитов» (Older Granites) объединена большая группа метаморфизованных гранитных пород с преобладанием порфиоровидных биотитовых гранитов. С ними связаны пегматитовые жилы, часть которых содержит касситерит и танталит-колумбит.

Комплекс молодых интрузий (местное название комплекса колумбитоносных гранитов) распространен в Северной Нигерии

на площади более 6500 км² и представляет собой серию изверженных пород, внедрившихся в породы докембрийского подстилающего комплекса. Вопрос о возрасте молодых интрузий является дискуссионным. Ранее образования молодых интрузий Джос и аналогичных гранитов в других районах Африки относили к самым верхам докембрия или низам кембрия (Колотухина и др., 1964), но, судя по недавно выполненным в последней работе Джекобсона и другим определениям абсолютного возраста (Jacobson a. oth., 1963), их возраст следует определять как мезозойский (юрский).

Комплексы молодых интрузий сложены разнообразными породами, начиная с риолитов, кварцевых профиров, гранит-порфиров, микрогранитов и кончая наиболее распространенными биотитовыми гранитами, с которыми ассоциируют рибекитовые и рибекит-биотитовые граниты, а также мелкие тела сиенитов и габбро.

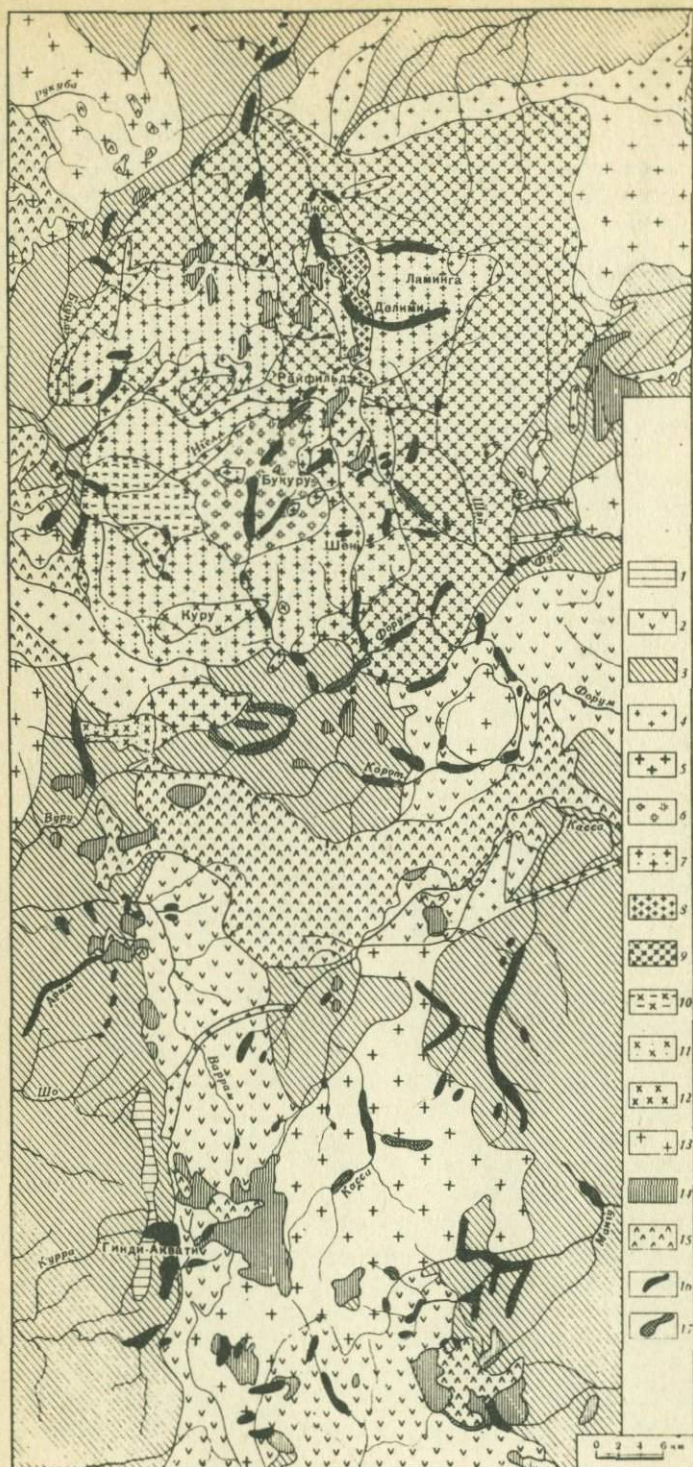
Комплекс молодых интрузий собственно плато Джос, развитый на площади около 180 м², является сложным массивом, образовавшимся в обстановке многофазного внедрения интрузий. Маклеод (McLeod, 1965) выделил среди них 15 разновидностей пород, объединенных в четыре цикла магматической деятельности. Возрастная последовательность этих фаз (циклов) следующая (от древних к молодым) — вулканический цикл: 1) риолиты и кварцевые порфиры, 2) кварц-фаялитово-геденбергитовые порфиры Нейлс Вэлли; ранний гранитный цикл: 1) роговообманко-биотитовые граниты и гранит-порфиры, 2) биотитовые граниты Джос, 3) биотитовые граниты Нгелл, 4) альбит-биотитовые граниты Рейфилд Гона, Форум, 5) биотитовые граниты Делими, 6) биотитовые граниты Куру; гранитный цикл Шере: 1) роговообманко-фаялитовые граниты, 2) рибекитовые граниты, 3) альбит-рибекитовые граниты; поздний гранитный цикл: 1) амфибол-фаялитовые граниты и гранит-порфиры Шен, 2) биотитовые граниты Букуру, 3) биотитовые граниты Сабон-Гида I, 4) биотитовые граниты Сабон-Гида II (рис. 3).

Флювиовулканическая серия включает элювиально-делювиальные, аллювиальные глины, пески и галечники, в верхней части переслаивающиеся с пеплами и туфами, перекрытыми лавой. Остатки этих отложений сохранились только на плоских вершинах гор с высотами до 1500 м.

Молодые базальты в виде лав и покровов перекрывают отложения флювиовулканической серии и более древние породы. Излияния базальтов происходили, начиная с плейстоцена. Базальтовые покровы, кроме флювиовулканической серии, перекрывают и мощные отложения третичной коры выветривания комплекса молодых гранитов и аллювий древних речных долин. Мощность базальтовых покровов непостоянна и не превышает 70—90 м.

Аллювий и элювий в районе являются одним из первостепенных источников касситеритовых и колумбитовых концентратов.

Связь коренной ниобиевой минерализации с породами комплекса молодых интрузий была установлена в 1945 г. Дент-Юнгом,



обнаружившим акцессорный колумбит в биотитовых гранитах Рукуба и Лируэй. С этого времени начинается изучение колумбитоносности различных типов (фаз) молодых биотитовых гранитов плато Джос. Было установлено, что все они содержат колумбит; самыми богатыми оказались биотитовые граниты фазы Рейфильд-Гона. Позднее колумбит был выявлен в молодых гранитах массива Ропп-Тенти и некоторых других. Наиболее детально изучены биотитовые граниты массива Джос. Оказалось, что здесь включения колумбита встречаются в различных биотитовых гранитах, а также в поздних гранит-порфирах (комплекс Шен-Куру). Поэтому в дальнейшем детальное изучение комплекса молодых гранитов было ограничено только этими типами гранитов (John Paulo, 1954; Jacobson, 1951).

Особенно богатые колумбитом участки биотитовых гранитов занимают площади от четырех до нескольких сотен гектаров. Они часто имеют сильно вытянутую, эллипсовидную форму и образуют серии «цепочек» с параллельными друг другу осями. Обычно они совпадают с зонами смятия в гранитоидах и часто приурочены к разрывным нарушениям, в частности, к кольцевым разломам. Обогащенные колумбитом участки в таких гранитах, как правило, обогащены и вторичным, лейстовым альбитом, который замещает калиевый полевой шпат и часто (по сравнению с последним) преобладает. Из акцессорных минералов в альбит-биотитовых гранитах встречаются флюорит, колумбит, монацит, ксенотим, торит, ортит, циркон и, реже, касситерит.

Особенности минералогического и химического составов, структуры, связь с тектоническими нарушениями — позволяют отнести альбит-биотитовые граниты плато Джос к метасоматическим гранитоидам и связывать образование колумбита в них с метасоматическим процессом (Северов, 1962; Беус и др., 1962). Взгляд на колумбит, как на минерал, имеющий на плато Джос магматогенное происхождение (Апельцын и Фельдман; 1958; Jacobson et al., 1958), в настоящее время находит все меньше и меньше сторонников.

Нигерийские колумбитоносные граниты значительно обогащены ниобием и танталом (табл. 5).

Неальбитизированные граниты, например граниты фазы Джос, характеризуются лишь незначительной тантало-ниобиевой минерализацией. В них наблюдается только редкая вкрапленность мелких зерен колумбита.

Рис. 3. Геологическая карта плато Джос (Нигерия)

Докембрий: 1 — кварцевые диориты, 2 — «древние» граниты, 3 — гнейсы, сланцы, амфиболиты. «Молодая» интрузивная серия (юра?): 4 — кварцевые порфиры, гранит-порфиры, риолиты, микрограниты, 5 — биотитовые граниты Рейфильд-Гона и Форум (наиболее обогащены колумбитом), 6 — биотитовые граниты Букуру, 7 — биотитовые граниты Нгелл, 8 — биотитовые граниты Делими, 9 — биотитовые граниты Джос, 10 — биотитовые граниты Сабон-Гида, 11 — биотитовые граниты Куру, 12 — рогово-обманково-биотитовые граниты Шен, 13 — граниты нерасчлененные. Позднеэретичные и четвертичные отложения: 14 — флювиовулканическая серия, 15 — молодые четвертичные базальты. Россыпи: 16 — наиболее крупные оловянные (с различным содержанием колумбита), 17 — колумбитовые (с различным содержанием касситерита)

Содержание ниобия и тантала ($n \cdot 10^{-4}\%$) в нигерийских гранитах (по Герасимовскому, 1967 г.)

Порода	Nb	Ta
Альбит-рибекитовый гранит, Лируей	1750	150
Рибекит-эгириновый гранит, Лируей	150	15
Биотитовый гранит Рейфильд-Гона, Джос	180	30
Биотитовый гранит, Джос	110	14
То же, Вом	230	18
Роговообманковый гранит-порфир, Сара	91	8
Арфведсонитовый порфир, Сайл	140	14
Роговообманковый сиенит, Пэнкшим	57	9

Основные данные, характеризующие особенности гранитов плато Джос, в том числе содержание в них колумбита, сведены в табл. 6. Судя по ней, колумбит, в основном, ассоциирует со средне- и равномернозернистыми разностями биотитовых гранитов, в то время как грубозернистые (и очень мелкозернистые) содержат очень мало колумбита.

Колумбит в комплексе молодых гранитов обычно хорошо кристаллизован. Кристаллы таблитчатые и вытянутые. Встречаются разновидности от плоских пластин до вытянутых игольчатых кристаллов, но они не типичны. Колумбит всегда черный и непрозрачный даже в тончайших обломках. Иногда отмечается побежалость голубого, реже зеленого или желтого цвета. Удельный вес $5,5 \pm 0,05$. Твердость минерала немного меньше, чем у кварца. Цвет черты от темной красно-коричневой до светло-коричневой. Магнитная проницаемость колумбита меньше, чем у ильменита и больше, чем у монацита.

Три анализа колумбита из гранитов фазы Рейфильд-Гона дают содержание суммы $Nb_2O_5 + Ta_2O_5$ равное 76%. Отношение Nb:Ta в колумбитах из разных типов гранитов меняется мало и в среднем составляет 7:1. Чэдвик (Chadvick, 1951) приводит следующий анализ колумбита (в%) из комплекса молодых гранитов (Лируэй Хиллс): Ta_2O_5 — 3,89, Nb_2O_5 — 73,60, TiO_2 — 0,96, SnO — 0,05, WO_3 — 0,10, FeO — 18,59, MnO — 2,14, MgO — 0,28, H_2O — 0,02, H_2O^+ — 0,32, сумма — 99,9. Кристаллы колумбита отличаются малыми размерами, обычно 0,1—0,5 мм (в 18—20% меньше 0,074 мм).

В целях расчленения разных фаз молодых гранитов широко применялось изучение ассоциаций тяжелых акцессорных минералов (табл. 7). Оказалось, что каждая фаза характеризуется определенной разновидностью циркона, причем между этими разновидностями и содержанием колумбита намечается определенная связь — содержание колумбита возрастает в гранитах, для кото-

рых характерны менее вытянутые и более темные цирконы. В цирконах из наиболее богатых гранитов фазы Рейфилд-Гона иногда встречаются включения колумбита. Цирконы гранитов этой фазы, в основном, имеют размер более 0,6 мм в поперечнике. В наиболее распространенной разновидности биотитовых гранитов (фаза Джос) циркон представлен вытянутыми соломенного цвета кристаллами и включения колумбита встречаются в очень малых количествах.

Там, где гранит фазы Рейфилд-Гона наиболее богат колумбитом, в нем постоянно присутствуют торит (или оранжит) и ксенотим, причем обычно отмечается прямая зависимость между содержаниями колумбита и торита.

Из таблиц 6 и 7 видно, что наиболее высокими содержаниями колумбита отличаются (кроме гранитов фазы Рейфилд-Гона) граниты фаз Форум и отчасти Букуру. Обогащенные колумбитом граниты фазы Рейфилд-Гона залегают на площади 31 км², а площадь гранитов фаз Форум и Куру составляет около 5 км², но границы последних часто скрыты под покрывающими их наносами.

Кроме массива Джос повышенное содержание колумбита установлено в молодых гранитах Лируэй (до 0,45 кг/м³) и Рукуба (до 0,22 кг/м³). Исследования проводились также в комплексе молодых гранитов Ропп-Тенти, который расположен на 30 км южнее массива Джос на площади около 200 м². Этот массив сложен разновидностями гранитов, близкими по составу к комплексу Джос, но менее дифференцированных. В одной из разновидностей этих гранитов (Бука Боквай) повышенные содержания колумбита; по составу и структуре эта фаза близка к фазе Рейфилд-Гона на плато Джос.

На плато Джос установлены также рибекитовые граниты, содержащие пироксеноид (долина р. Каффо), в котором содержится 41,1% Nb₂O₅ и до 3,5% Ta₂O₅. Технология извлечения пироксеноида еще не разработана и месторождение не эксплуатируется, несмотря на большие запасы.

Выше уже говорилось, что промышленное значение на плато Джос имеют не сами колумбитоносные граниты, а связанные с ними коры выветривания и россыпи. Вероятно, образование коры началось еще до формирования флювиовулканической серии. Известно, что мощность элювиальных образований на гранитах плато Джос достигает 30—35 м. В ряде случаев верхние горизонты коры перекрыты покровом латеритов (относительно тонкая кора или «панцырь»), латеритные переотложенные образования встречаются и среди более молодых аллювиальных отложений. Сам разрез коры выветривания сложен преимущественно каолиновыми глинами, которые книзу переходят в выветрелый гранит.

По аналогии с соседними регионами (Гвiana), где отмечается значительное распространение латеритных кор выветривания (преимущественно по долеритам и базальтам; Денисов, 1962), можно предположить, что в Нигерии, в частности на плато Джос, процессы корообразования в значительной степени начались в

Характерные особенности гранитов плато Джос по материалам Ф. Вильямса

Фаза	Цвет	Структура	Особенности состава	Внешние особенности	Содержание колумбита (кг/м ³)	
					пределы	среднее
Шен-Куру	На свежем изломе ярко-голубой, обычно ржаво-бурый	Порфировая	Характерна голубоватая окраска вкрапленников полевого шпата. Кварц бледно-серый бипирамидального габитуса	Высокие холмы правильных очертаний	Следы	—
Джос	От темно-коричневого до красного	Крупнозернистая (кроме узкой полосы около контакта)	Изоморфные выделения полевого шпата в 0,5—1,5 см и крупные розетки биотита. Много кварца, он слабо округленный с вторичными прорастаниями; слегка голубоватого цвета	Прекрасно выраженная горизонтальная отдельность. Высокие неровные глыбовые обнажения	0,0—0,03	0,012
Нгелл	То же	От среднезернистой до крупнозернистой; порфировая и микрогранитная у контакта	Выделения полевого шпата (0,2—1,0 см). Кварц в виде скоплений мелких зерен, характерны сростки в виде цепочек. Биотит как в крупных пластинах, так и тонкодисперсные выделения в полевоом шпате	Горизонтальная листоватость выражена слабее, чем в гранитах плато Джос. Высокие неровные глыбоватые обнажения	Следы—0,15	0,11
Делими	Белый, серый или бледно-розовый	Равномерная мелкозернистая	Кварца много (0,2—0,3 мм), иногда агрегаты. Прозрачен и ноздреват	Сахаровидный облик породы	0,03—0,12	0,06

Фаза	Цвет	Структура	Особенности состава	Внешние особенности	Содержание колумбита (кг/м³)	
					пределы	среднее
Букуру (Са- боң-Гида)	Различный	Мелко и средне- зернистая, нерав- номернозернистая	Кварц представлен зернами среднего размера, бесцветный, матовый; одиночные зерна и агрегаты. Имеет тенденцию к образованию кристаллов бипирамидного облика. Характерна своеобразная трещиноватость зерен кварца—при выветривании рассыпается на мелкие обломки. Повышенное содержание биотита	—	0,06—0,24	0,18
Рейфильд-Гона	Белый, серый или бледно-ро- зовый	Равномернозер- нистая	Кварц мелкий до среднего, бес- цветный. Одиночные зерна и агре- гаты. Размер зерен в отдельных участках примерно одинаковый	Трещиноватость яс- ная и неправильная. Выветривание дает белые вулканы. Гра- ниты образуют низкие ровные обнажения; Внешне они напоми- нают граниты Делми	0,24—4,9	0,3
Форум	Белый, серый и бледно-розо- вый	Равномернозерни- стая, места- ми слабопорфи- ровидная	Спорадические порфиновые выде- ления кварца и полевого шпата. Кварц сходен с кварцем гранитов Рейфильд-Гона	Рассматривается как локальная разновид- ность гранитов Рей- фильд-Гона	0,18,—3,6	0,3

Тяжелые минералы в гранитах разных фаз плато Джос, по материалам Вильямса (Williams et al., 1956)

Минерал	Шен-Куру	Джос	Нгелл	Делими	Букуку	Рейфильд-Гона	Форум
Колумбит	Следы	0—0,03 кг/м ³ в основном тонкозернистый. Вытянутые призмы и таблички	Следы—0,15 кг/м ³ . Плоские таблички. Сравнительно грубозернистый	0,03—0,12 кг/м ³ Призматические и игольчатые кристаллы	0,06—0,24 кг/м ³ . Игольчатые формы и пластинки с сильным блеском	0,24—4,9 кг/м ³ Призмы, иглы, пластинки, корродированные в участках с повышенным содержанием колумбита. Характерны мелкозернистые разновидности	0,18—3,6 кг/м ³ Призмы и пластинки. Коррозия зерен слабая
Цирконы грязный (mud)	—	—	—	—	—	Типичен	—
Грязноватый (fresh mud)	—	—	—	—	—	—	Типичен
Соломенный (straw)	—	Типичен. Вытянутые формы	—	—	—	—	—
бледно-коричневый просвечивающий	—	Редок	Типичен	Редок	Мало	—	Редок
бледно-коричневый винный и янтарный	—	—	—	Мало	Обычен	Редок	—
бесцветный матовый	—	—	Редок	—	Типичен (мало)	—	—
серый полупрозрачный	Типичен, вытянутые формы	Редко. Мелкий	Мало. Мелкий	Мало. Мелкий	Мало. Мелкий	Мало. Мелкий	Мало. Мелкий
	—	—	—	Типичен Мало	—	—	—
Монацит	Мало. Желтый	Типичен. Темно-желтый, редок до обычного	Мало. Желтый	Редок. Желтый	Редок. Желтый	Редок. Бледно-желтый	Мало. Желтый
Ильменит	Мало до обычного	Редок до обычного	Редко—мало	Редок—мало	Редок—мало	Мало	Редок
Магнетит	Редок до распространения	Мало	Мало	—	Редок	Редок	Мало
Торит-оранжит	—	—	—	—	—	Мало	Редок
Анализ	—	—	Редок	Редок	Редок	—	—
Роговая обманка	Редка до обычного	—	—	—	—	—	—
Ксенотим	—	Мало	—	—	—	Мало	Редок

домиоценовое время и продолжают сейчас. Уже в миоцене верхние латеритные зоны профиля коры были размыты, а их материал переотложен в древних речных долинах.

На плато Джос наиболее выветрелыми являются граниты фазы Рейфильд-Гона, в продуктах их выветривания имеются участки, содержащие 3,6—4,9 кг/м³ колумбита (в среднем около 1,2 кг/м³). Колумбит в коре выветривания распределен неравномерно, что отражает неравномерность его распределения в гранитах. Пробы, взятые из коры выветривания гранитов фазы Рейфильд-Гона (среднее по 20 пробам), дают следующее распределение колумбита по крупности зерен (табл. 8).

Таблица 8

Состав зерна колумбита

Фракция	‰	кг/т	Распределение (‰)
Грубые пески + 0,25 мм	35	0,5	7
Мелкие пески — 0,25 мм	15	16,0	93
Шлам	50	—	—

Таблица 9

Анализ ситовых фракций пробы колумбита из коры выветривания графитов фазы Рейфильд-Гона, (Williams. 1959)

Данные ситового анализа колумбитового концентрата, (Williams, 1959)

Фракция, мм	Выход	Содержание	Распределение, ‰
+1,1	23,2	—	—
+0,65	22,0	0,1	0,5
+0,25	22,3	1,8	7,2
+0,20	6,7	10,0	10,7
+0,147	4,9	14,7	12,7
+0,104	6,0	18,3	19,6
+0,09	2,5	20,7	8,9
+0,06	3,9	20,2	13,1
+0,046	3,3	19,6	11,2
—0,046	5,2	16,6	16,1

Для получения колумбитовых концентратов на плато Джос работают обогатительные фабрики с применением различных методов обогащения: отмучивание, электростатическая и электромагнитная сепарация, флотация. Коллективный концентрат после метода отмучивания и отсадки на отсадочной машине имеет следующий состав (‰): колумбит — 25,8, касситерит — 7,6, магнетит — 6,0, ильменит — 4,1, циркон — 45,0, оранжит — 5,4, ксенотим — 1,1, монацит — 1,0, примеси (в основном кварц) — 4,0.

Для выявления распределения колумбита в корах выветривания гранитов и подсчета его запасов применялось разбуривание перспективных площадей буровыми скважинами по квадратной сетке (через 70 м для ручного бурения до 30 м глубины и через 130 м для механического бурения). Опробование керна производилось по трехметровым секциям. Отобранные пробы (порядка 8—15 кг) поступали на предварительную обработку с отмучиванием и другими операциями, а затем на минералогический и химический анализы. Объемный вес продуктов кор выветривания составлял от 1,313 до 1,162 т/м³. Для подсчета запасов как стандарт был принят объемный вес, равный 1,43 т/м³.

Среди россыпных месторождений колумбита Маккей и Гринвуд (Mac Kay et. al., 1949) выделяют следующие основные типы: 1) аллювиальные — во-первых, это месторождения, связанные с современной речной сетью, во-вторых, глубокие пласты ниже молодых базальтов и, в-третьих, глубокие пласты ниже флювиовулканической серии; 2) элювиальные. К элювиальным относятся концентрации колумбита в коре выветривания, рассмотренные выше.

Месторождения, связанные с современной речной сетью, наиболее распространены; именно из них за все время разработки, получено не менее 90% всего касситерита и, вероятно, весь колумбит. Мощность аллювия достигает 27 м. Некоторые глубокие россыпи являются более древними, чем молодые базальты, но расположены в современных долинах с длительным циклом накопления наносов. Пример таких отложений — аллювий р. Букуру. Крупные современные аллювиальные россыпи колумбита в настоящее время, в основном отработанные, показаны на рис. 3.

Современные россыпи обычно имеют длину не более 2—3 км и ширину около 50—200 м. Мощность обогащенного колумбитом обычно более грубозернистого нижнего пласта россыпи достигает 5—6 м. Обогащение колумбитом крупной долинной россыпи происходит за счет многочисленных мелких боковых распадков, а сама долинная россыпь получает локальное распространение в благоприятных для осаждения колумбита участках, обычно в непосредственной близости от коренных источников.

Один из разрезов аллювиального месторождения на плато Джос, по Обджалеку (Obdržálek, 1966), выглядит так

1. Глины коричнево-красные, латеритизированный песчаник мощностью, м: 0,5;
2. Серые песчанистые глины — 5—7;
3. Продуктивные песчаные отложения — 7—8.

Колумбит из аллювиальных месторождений на плато Джос обычно характеризуется малыми размерами зерен. Это иллюстрируется (табл. 10) распределением этого минерала (в %) по фракциям трех проб аллювиальных отложений р. Форум (MacLeod, 1954).

Распределение колумбита по фракциям

Фракция, мм	1	2	3
+0,6—0,3	55	38	52
+0,3—0,2	20	19	15
+0,2—0,15	14	17	12
+0,15—0,1	6	16	7
+0,1—0,07	3	6	4
+0,07	2	10	10

Содержание колумбита в пробах 1—3, соответственно, равно 630, 507 и 241 г/т. Отношение колумбита к касситериту в аллювиальных россыпях обычно находится между 1:20 и 1:25. В 15 или 20 участках (из общего количества более 2000 участков) это соотношение доходит до 1:3. Хааг (Haag, 1943) отмечает, что по р. Форум несколько выше верховья колумбита уже не встречается, а на 2,5 км вверх выше по течению отложения содержат 25% колумбита и 75% касситерита, в то время как в верховьях р. Куру соотношение колумбита и касситерита около 1:1. Закономерное уменьшение содержания колумбита по сравнению с касситеритом вниз по течению объясняется истиранием колумбита.

Наиболее высокая концентрация колумбита в аллювии наблюдалась в верховьях р. Форум (отношение колумбита к касситериту равно 2:1) и вокруг Сабон-Гида.

Среднее содержание колумбита в аллювии за весь период добычи на плато Джос до 1955 г. составляло 650 г/м³.

Кроме колумбита и касситерита россыпи содержат ильменит, рутил, магнетит, монацит, циркон, торит (оранжит) и, на отдельных участках, вольфрамит. Пироксеноиды обычно не характерны для колумбитовых россыпей и встречается только в верховьях бассейнов рек, размывающих рибекитовые граниты.

Глубокие пласты ниже молодых базальтов обычны в приподнятых участках в верховьях древних долин, где мощность их колеблется от 6 до 15 м. В долинах рудопоявления под молодыми базальтами залегают на глубине 45—60 м и практически не разрабатываются. В некоторых из них содержания касситерита близки к содержанию в современном аллювии, но значительных скоплений колумбита не встречено. В древних россыпях встречается более тонкозернистый колумбит и содержание его ниже, чем в современном аллювии.

Гидрографическая система древней речной сети с россыпями не совпадает с современной, хотя общее направление долин осталось близким. Протяженность россыпей достигает в некоторых случаях 8 км (вероятно за счет приноса материала боковыми притоками); соотношение касситерита и колумбита достигало 1:1. Мощность обогащенных пластов аллювия не превышает 2 м, а

покрывающих наносов 5—8 м, причем большая часть колумбита концентрируется в нижних частях гравия или более грубозернистой части пласта.

Глубокие пласты, залегающие ниже флювиовулканической серии, сохранились в районах плато, защищенных от эрозионных процессов окружающими гранитами и расположены под серией осадков, которые занимают выровненные пространства, на глубинах в 30 м и более. Так как покрывающие их осадки достаточно легко разрабатываются, в ряде случаев при достаточных содержаниях из них добывалось олово. Повышенные содержания колумбита встречались в них очень редко. Для подобных пластов характерен еще меньший размер зерен полезных минералов, чем в современном аллювии.

Колумбит и касситерит поступали в россыпи из разных коренных источников. Если колумбит на плато Джос в коренных породах наиболее характерен для альбит-биотитовых гранитов, то касситерит — для кварц-касситеритовых жил и оловоносных штокверков, связанных как с породами комплекса молодых интрузий, так и с породами комплекса основания (древние граниты). Концентрации колумбита в россыпях предшествовал подготовительный этап его накопления в породах выветривания.

Официальные запасы Нигерии в марте 1966 г. составляли 45 тыс. т достоверного и 9 тыс. т проблематичного колумбита (всего 54 тыс. т). По примерным подсчетам горного бюро США в Нигерии имеется около 395 тыс. т Nb_2O_5 (вместе с пирохлором), а по данным Куна (Куп, 1962) — 100 тыс. т Nb_2O_5 и 20 т Ta_2O_5 . Прогнозные запасы определяются цифрой порядка млн. т Nb_2O_5 .

Экзогенные месторождения Республики Заир отличаются от месторождений в Нигерии существенно танталовым характером минерализации. Они локализируются в Южном Киву, между оз. Киву и р. Конго (округ Маньем). Здесь находится несколько крупных интрузивов гранитоидов (массивы Казес, Лова, Калима, Панжи-Кама и другие), несущих оловянную и тантало-ниобиевую минерализацию (рис. 4). Они залегают среди глубоко метаморфизованных кристаллических сланцев, гнейсов и кварцитов формаций Урунди, Лукуга и Лииди (630—1150 млн. лет).

По Н. Варламову (Varlamoff, 1949), эти интрузивы слагаются преимущественно докембрийскими гранитами двух типов: во-первых, кальциевощелочными монцонитовыми (или анкеритовыми), а также двуслюдяными щелочными и, во-вторых, мусковитовыми гранитами.

Самым крупным интрузивом является батолит Казес. Он представляет собой холмистое плато, приподнятое до 1000—1200 м над уровнем моря, постепенно понижающееся к югу. На юге, вдоль батолита протекает р. Северная Лугулу. Правые притоки которой разрезают батолит на ряд самостоятельных бассейнов. Здесь, на протяжении 100 км локализируются наиболее крупные месторождения танталита.

В долине р. Северной Лугулу распространены конгломераты,

песчаники и кремнистые сланцы формации Карру (пермо-триас). К северу от них узкой полосой выходят слюдяные сланцы, амфиболиты и гнейсы формации Урунди (верхний или средний докембрий), на которые отложения Карру ложатся трансгрессивно. Отложения Урунди прорывают и метаморфизуют граниты батолита Казес, с которыми связана олово-танталовая минерализация (Куп. 1959).

Ближе к центру массива Казес располагается зона мигматитов с мелкими, хотя и многочисленными линзами шлировых микролиновых пегматитов без заметной редкометальной минерализации. К югу мигматиты сменяются более распространенными

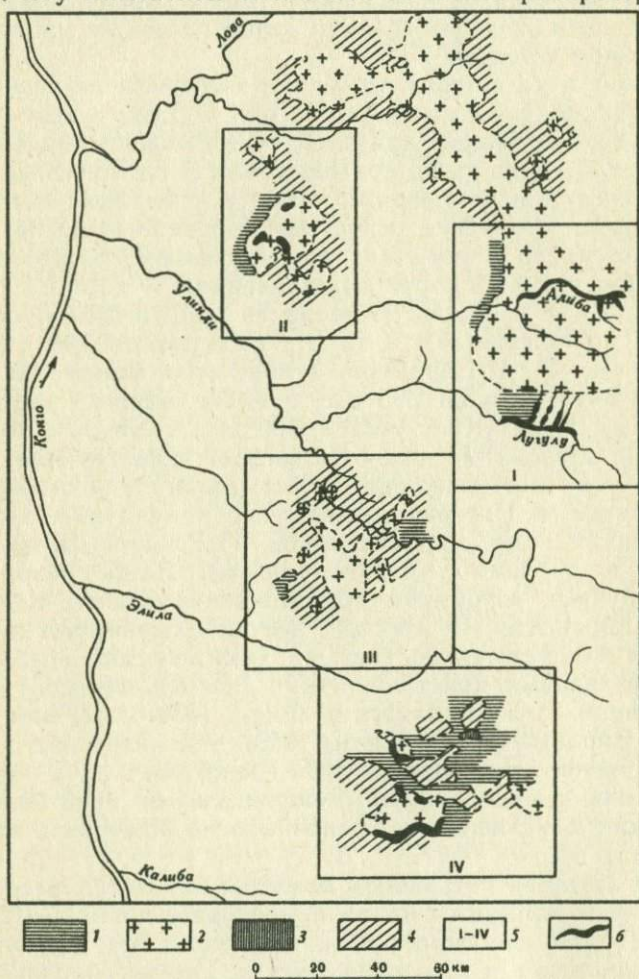


Рис. 4. Танталовые россыпи Маньема (Varlamoff, 1950)

1 — породы формации Линди и Лукуга (докембрий); 2 — гранитоиды; 3 — основные породы; 4 — метаморфические породы; 5 — главные районы распространения танталита и касситерита; I — Идиба-Лугулу, II — Лова, III — Улинди, IV — Панджи-Кама; 6 — россыпи танталита и колумбита

породами батолита — биотитовыми гранодиоритами, по составу близкими к трондьемитам. Далее относительно узкая зона двуслюдяных гранитов сменяется самой южной, краевой зоной мусковитовых гранитов. В этой зоне, а особенно в зоне экзоконтакта, в слюдяных сланцах распространены пегматитовые жилы, заметно отличающиеся от пегматитов внутренних зон. Это преимущественно микроклин-альбитовые пегматиты, а в зоне экзоконтакта на расстоянии 1 км от гранитов зафиксированы и микроклин-альбитовые пегматиты с высоким содержанием сподумена.

Характерно распределение олова, тантала и ниобия в пределах батолита. В зоне мигматитов содержание этих элементов очень невелико, причем тантал и ниобий резко преобладают над оловом ($\text{Sn}:\text{Ta}+\text{Nb}=1:20$), тантало-ниобаты встречены в виде ничтожной аксессуарной примеси. В трондьемитах при таком же соотношении $\text{Sn}:\text{Ta}+\text{Nb}$ содержится не более 10 г/т танталит-колумбита. В двуслюдяных гранитах, то есть ближе к контакту массива, отношение $\text{Sn}:\text{Ta}+\text{Nb}$ повышается до 1:7 и даже до 1:3 (содержание тантало-ниобатов неизвестно). Наконец, в зоне мусковитовых гранитов отношение $\text{Sn}:\text{Ta}+\text{Nb}$ повышается до 1:1, увеличивается и абсолютное содержание касситерита и танталит-колумбита (до десятков и первых сотен г/т в отдельных пробах). В этой зоне часто встречаются участки грейзенизации с танталит-колумбитом и касситеритом. Здесь присутствуют и мелкие кварц-касситеритовые прожилки.

Однако большая часть касситерита и танталит-колумбита концентрируется, вероятно, в пегматитовых жилах внешней зоны. Эти пегматиты образуют линзообразные тела, согласно залегающие со сланцами, их мощность достигает 25 м. Вмещающие породы чрезвычайно интенсивно насыщены пегматитами, которые часто слагают до нескольких десятков процентов от общей площади выхода породы. В жилах и линзах часто выделяются полевошпатовое ядро с заметной концентрацией колумбит-танталита и внешняя кварц-мусковит-касситеритовая зона. Отношение $\text{Sn}:\text{Ta}+\text{Nb}$ очень изменчиво — от 1:2 до 9:1 в наиболее минерализованных пегматитах. Кун (Kun, 1958) отмечает, что содержание тяжелых минералов в пегматитах составляет 0,01—0,1%.

В домиоценовое время породы батолита Казес подвергались интенсивному химическому выветриванию. Судя по ее остаткам на гранитах, мощность коры была не меньше, чем 30—40 м. Интенсивно выветривались и пегматиты, некоторые из них сейчас на 98% слагаются глинистыми продуктами выветривания (преобладает минерал группы каолинита).

Наиболее мощная кора выветривания характерна для пегматитов района Чонка Ннамбези и Ннамбембе, отличающихся богатой олово-танталовой минерализацией. Широкое распространение коры выветривания сыграло решающую роль в последующем интенсивном размыве матернала выветрелых пегматитов и гранитов краевой зоны (также обогащенной тантало-ниобатами) и в образовании скоплений касситерита и танталит-колумбита в аллювии. Скорее

всего рудные минералы поступали в россыпи преимущественно из пегматитов и грейзенов.

Притоки р. Северной Лугулу выносят эти минералы из элювия и делювия и отлагают их в области распространения пород формации Урунди. В пределах промышленных площадей различают россыпи элювиальные, делювиальные и аллювиальные. Среди последних выделяются русловые и террасовые.

В распределении полезных ископаемых в рыхлой толще наблюдается определенная зональность (рис. 5). В непосредственной близости от источника сноса накапливается главным образом



Рис. 5. Схематическая геологическая карта россыпей в бассейне р. Северной Лугулу

1 — гранитоиды; 2 — слюдяные сланцы, гнейсы; 3 — сланцы и амфиболиты формации Урунди; 4 — сланцы и песчаники формации Карру; 5 — россыпи; 6 — контур россыпей на коренных породах

колумбит-танталит, дальше по течению рек широкое распространение получает касситерит. Аллювиальный пояс на контакте гранитов со сланцами имеет ширину 2—5 км. Максимальная концентрация тяжелых минералов наблюдается у контакта сланцев формации Урунди и песчаников Карру. Касситерит прослеживается вдоль рек на расстоянии 7—8 км от контакта с гранитами. Колумбит-танталит исчезает ранее. Так, крупнокристаллический колумбит-танталит пегматитов исчезает в 100—300 м от коренного источника, мелкий колумбит переносится дальше — на 2,5—4 км. В среднем (табл. 11) по россыпям р. Северной Лугулу преобладает колумбит-танталит в относительно крупных фракциях (Куп, 1959).

Характерно, что отношение $\text{Sn} : \text{Nb} + \text{Ta}$ в аллювии увеличивается до 19:1.

Мощность аллювия в притоках р. Северной Лугулу не превышает 1,5 м. В самой Лугулу и более крупных ее притоках мощность аллювия увеличивается до 4 м. Обычно вертикальный разрез аллювия здесь состоит из растительного слоя, песка, содержащего дресву гранитов, гравия с гальками средней величины, который содержит максимальное количество касситерита и колумбита, и ниже — коренные породы. Иногда песок образует несколько слоев. В некоторых разрезах песок и гравий разделяют слои тор-

Результаты ситового анализа полезных минералов района 5 р. Северной
Лугулу (Кун, 1958, 1959)

Размер зерен, мм	Касситерит	Колумбит	Ксенотим	Циркон
>2,5	25	25	—	48
2,5—1	17	10	—	17
1—0,6	34	30	5	29
0,6—0,2	15	17	31	6
<0,2	9	18	64	—

фа. Террасы наблюдаются по р. Северной Лугулу на нескольких уровнях. Обычно они не содержат промышленных россыпей.

В аллювии колумбит-танталит содержится в количестве 5—7% (в концентрате). Обычный концентрат после промывки состоит на 92% из касситерита и 7% из колумбит-танталита, 1% составляют акцессорные минералы.

Колумбит темно-серый или черный, матовый, парамагнитный и слегка радиоактивный; удельный вес 5,62—6,13. Средний химический состав колумбита-танталита (в %) приводит Кун (Кун, 1958): Nb_2O_5 — 42; Ta_2O_5 — 35; FeO — 14; MnO — 5,5; SnO_2 — 2; TiO_2 — 1; среднее содержание $(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_5$ — 65%; содержание Ta_2O_5 в минерале варьирует от 49,5 до 25,7%.

Кроме колумбита и касситерита в шлихах в незначительном количестве встречаются: альмандин, спессартит, ильменит и турмалин лейкоксен, магнетит, мартит, берилл, хризоберилл, брукит, корунд, рутил, шеелит, скородит, сподумен, ставролит, титановый гранат, топаз, шерл, ксенотим, монацит, циркон, флюорит. Запасы в районе р. Северной Лугулу точно не подсчитаны. Кун (Кун, 1959) считает, что эти россыпи занимают первое место по запасам тантала в зарубежных странах и третье по запасам ниобия (рис. 6).

В последней работе Куна (Кун, 1962) автор сообщает об открытии к северу от бассейна р. Северной Лугулу новых месторождений в районе р. Идиба. Коренным источником россыпей, по-видимому, являются пегматиты, приуроченные к останцам кровли гранитного батолита Казес. Сами россыпи приурочены к мелким горным речкам и развиты на площади 1270 км². Мощность аллювия в них не превышает 0,3 м. Аллювий состоит из валунов и крупного гравия. Россыпи Идиба особенно интересны тем, что содержат колумбит-танталит (33% Ta_2O_5), ассоциирующий с мелкозернистым гранатом-альмандином, ксенотимом и турмалином. Касситерит редок. Россыпи Идиба представляют крупнейшее в мире месторождение тантала.

Накопление тантало-ниобатов в россыпях Северной Лугулу было, в основном, обусловлено размывом и перераспределением казенизированного материала из относительно небольших, но много-

численных пегматитовых жил, каждая из которых в отдельности не имеет большого промышленного значения. В провинции Катанга известно крупное месторождение Мононо¹, где тантало-ниобаты и касситерит связаны лишь с двумя крупными пегматитовыми жилами, которые, однако, имеют протяженность до 5 км при средней ширине до 400 м. Пегматиты обогащены альбитом, сподуменом, флюоритом, апатитом, цирконом, касситеритом и танталитом.

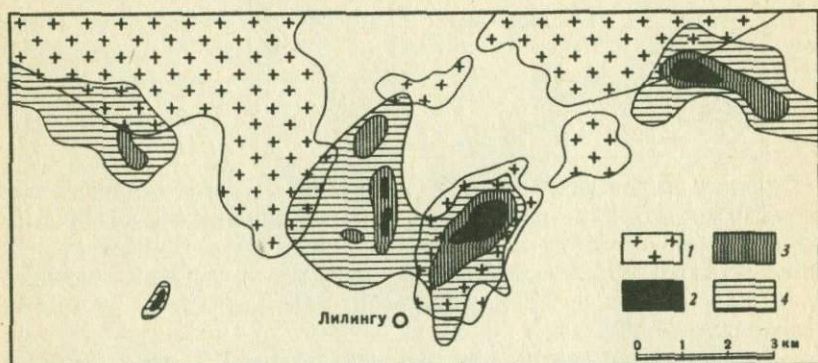


Рис. 6. Содержание колумбо-танталита в породах рыхлой толщи области Северной Лугулу (Kup, 1959)

1 — гранитоиды; 2 — содержания колумбо-танталита более 30%; 3 — более 20%; 4 — более 10%

колумбитом (содержание последнего в коренных рудах составляет 0,1—0,2 кг/т). Пегматиты интенсивно изменены в процессе выветривания, мощность зоны выветривания — около 20 м, хотя встречаются участки мощностью до 80 м. Касситерит и танталит-колумбит до последнего времени добывались именно из коры выветривания, содержание в ней танталит-колумбита в среднем составляло 0,07 кг/т. В оловянном концентрате в среднем содержалось 1,8—2,9% суммы Nb_2O_5 и Ta_2O_5 .

В Африке имеется еще целый ряд экзогенных месторождений и рудопоявлений тантала и ниобия, обычно связанных с пегматитами: в Уганде микролит и тапиолит добываются из россыпей, связанных с пегматитами рудника Булема; в Родезии из элювия и аллювия, связанных с пегматитами в районе Камативы, добываются танталит и касситерит; в юго-западной Африке, в районе Кариб-Омаруру и в бассейне р. Оранжевая, производится разработка пегматитов и связанных с ними россыпей; из них танталит добывается совместно с бериллом, касситеритом и литиевыми слюдами.

¹ Примерно такой же характер имеет и месторождение Альто-Лигония в Мозамбике.

Известны россыпи с танталитом в Сула Маунтине и Калгури-Хиллс (Сьерра-Леона), Берас-Ойа, Лом-Ривер, в аллювии р. Мба (Камерун). В Камеруне также найдены колумбитсодержащие аллювиальные россыпи в М'Бако-Ривер, Бстарс-Ойа и в некоторых других пунктах.

Колумбит был обнаружен в золотоносных россыпях в районе Майомбе, в среднем течении р. Конго (Конго, Браззавиль), его запасы были оценены в 50 тыс. т Nb_2O_5 .

Наконец, колумбит-танталит совместно с касситеритом и золотом найден в районе плато Лобито-Бенгуэла (Ангола); в Свазиленде колумбит-танталит с небольшим количеством эвксенита и эшенита попутно с литиевыми слюдами извлекается из пегматитов и россыпей Форбе Риф вблизи Эмбабаам.

Помимо колумбитоносных гранитов, пегматитов и связанных с ними кор выветывания и россыпей, в Африке выявлены крупнейшие карбонатитовые месторождения с пироксеновыми рудами, являющиеся крупными сырьевыми источниками ниобия. К ним, в первую очередь, относятся карбонатиты месторождения Мбея в Танзании, Мрима-Хилл в Кении, Нкумбе-Хилл в Замбии, Чилва в Малави, Луэш в Республике Заир. Характеристика некоторых из них дана в работе Л. С. Бородина (1966).

Значение процессов выветривания для повышения концентрации ниобия и тантала в карбонатитовых рудах иллюстрируется тем, что в Уганде, на месторождении Сукулу, зона выветривания простирается на глубину до 30 м. Основная часть разведанных запасов ниобия связана именно с этой зоной. На месторождении Мбея (Танзания) содержание ниобия в карбонатитах в среднем составляет 0,3%, тогда как в элювии (коре выветривания) — 0,62%.

5. Месторождения Австралии

В начале XX века Австралия была единственным поставщиком высококачественного танталита, добыча которого началась в 1905 г. в Воджина. К 1948 г. в Австралии всего было получено 294,6 т танталитового концентрата со средним содержанием 65% Ta_2O_5 (табл. 12). После 1947 г. ежегодная добыча концентрата не превышает 10—20 т (Sullivan, 1948). Основные танталитовые месторождения сосредоточены в районе Порты Хедленд, у Гринбушес (Западная Австралия) и у Финниш-Ривер (Северные территории).

Наиболее интересен в генетическом отношении олово-танталитовый район Гринбушес (Пятнов, 1969). Касситерит был здесь найден еще в 1888 г. в Бунбури Гулли. Максимальная его добыча (783 т касситеритового концентрата) была в 1906 г. Всего в пределах района (до конца 1950 г.) добыто 11,4 тыс. т касситеритового и 14,5 т танталит-колумбитового концентрата, причем 850—900 кг колумбита из коренных рудных тел, а остальная часть — из аллювия и делювия, причем на долю современного аллювия

Добыча танталита (в т) в Австралии (Sullivan, 1948)

Годы	Западная австралия				Северная территория	Квинсленд (всего)	Всего по Австралии	
	Вождина		Стрелли аллювий	Табба-Табба (всего)				Гринбушес (всего)
	коренные	аллювий						
1905	—	70,95	—	—	2,34	—	73,29	
1906	1,8	12,85	—	—	—	2,10	16,75	
1910—1916	—	—	—	—	—	—	—	
1917	—	12,5	—	—	—	—	12,5	
1918—1924	—	—	—	—	—	—	—	
1925	—	6,25	—	—	—	—	6,25	
1928	—	7,19	0,57	0,1	—	0,33	9,09	
1929	—	11,27	—	—	0,3	0,97	12,54	
1932	6,47	1,88	0,21	—	0,45	0,76	9,77	
1933	0,89	4,10	0,35	0,39	—	—	5,75	
1938	10,86	2,64	5,77	0,53	—	0,28	20,08	
1939	—	—	8,28	—	—	—	8,28	
1940	—	—	3,82	—	—	—	3,82	
1941	—	—	—	—	—	—	—	
1944	5,00	—	4,40	—	10,73	0,54	10,80	
1946	0,36	—	—	—	—	—	0,36	
1947	—	—	—	—	—	0,05	0,05	
Всего до 1948	54,89	168,16	28,90	13,49	14,84	11,78	294,62	

приходится не больше 10% от общей добычи (Hobson, 1949). Отношение танталита и касситерита составляет 1 : 700.

Район расположен в бассейне р. Блеквуд, на площади около 25 км² и на высоте 290 м над уровнем моря. Он является частью плато, сложенного докембрийскими метаморфическими и изверженными породами, на которых располагается «древний аллювий» (озерные отложения) предположительно третичного (миоценового?) возраста. Все эти породы в конце третичного времени были сильно латеритизированы, причем мощность латерита доходит до 20—25 м. По современной речной сети располагается аллювий четвертичного возраста.

Докембрийский комплекс пород очень плохо изучен, так как он перекрыт толщей латерита и «древнего аллювия». По редким выходам коренных пород в глубоко врезаемых логах и по буровым скважинам установлено, что к докембрию относятся дайки эпидиоритов и долеритов, зеленокаменные породы и гранитоиды.

Гранитоиды представлены аплитовидными гранитами, аплитами, а также гранито-гнейсами. Их сопровождают пегматиты и кварцевые жилы; граниты равномернозернистые или порфировидные, обычно биотитовые. Очень часто встречаются альбитизированные разности. Среди докембрийских пород имеются грейзеновые тела, из которых производилась добыча касситерита и колумбита.

Основная добыча колумбита производилась на грейзене «Энтерпрайз» из элювия и рудного тела. Главное рудное тело имеет мощность около 40 см и почти нацело состоит из бледно-зеленой слюды с небольшим количеством кварца и вкрапленностью касситерита, танталита-колумбита и турмалина. Танталит встречался кристаллами до 2,5 см в поперечине в отдельных изолированных участках, где содержание его достигало 8 кг/м³. Небольшие количества танталита добывались из других грейзеновых тел, вместе с касситеритом.

Эллис (Ellis, 1953; 1965) описывает пегматит с очень большим количеством слюды, где касситерит резко преобладает над танталитом. Кроме того, этот автор отмечает рассланцеванное сильноизмененное тело гранитоидов, где содержание танталита доходит до 600 г/м³. Концентраты из этого тела давали 25—40% танталита и 40—55% касситерита.

Породы, слагающие рудные тела, обычно сильно разложены, каолинизированны, вверх по разрезу они переходят в типичные элювиальные глины, в которых наблюдаются следы полосчатости и кроме каолина содержатся: зеленый мусковит, альбит и турмалин, ассоциирующие с касситеритом и танталитом. К подобному типу относится и рудное тело Вулкан, расположенное к западу от Бунбури Гулли. Оно разрабатывалось на глубину до 15 м, при простирании в 300 м и ширине 30—60 м. Здесь танталит-колумбит концентрировался на одной стенке штока и был окружен участками с повышенным содержанием касситерита. Все рудные тела с касситеритом и танталитом расположены, в основном, в районе верховьев Бунбури Гулли (рис. 7).

Соотношение танталита-колумбита с касситеритом в различных рудных телах сильно меняется. Касситерит нередко содержит до 1,15—1,76% Ta₂O₅.

Все докембрийские породы впоследствии были сильно эродированы, и в районе Гринбушес образовалось плато со слабо-всхолмленным рельефом, близким к современному. В результате благоприятного климата на докембрийских породах образовалась мощная кора выветривания. В средне- или поздне-третичное время начался ее размыв с образованием кластических отложений, которые образовались в прибрежной части мелководного моря или озера. Австралийские геологи называют эти прибрежные осадки древним аллювием.

Гобсон и Мэтсон (Hobson, Matheson, 1949) указывают, что повышенная часть в центре района, где теперь расположен город Гринбушес, вероятно, была островом и являлась источником образования «древнего аллювия». Постепенно происходило погружение острова и уменьшение его размеров. Месторождения касситерита и танталита образовались на мелководье и располагались около существовавшей в то время береговой линии. Такое образование россыпей в береговой полосе, по мнению Гобсона и Мэтсона, может объяснять расположение россыпных месторождений вокруг центрального возвышенного участка, а также при-

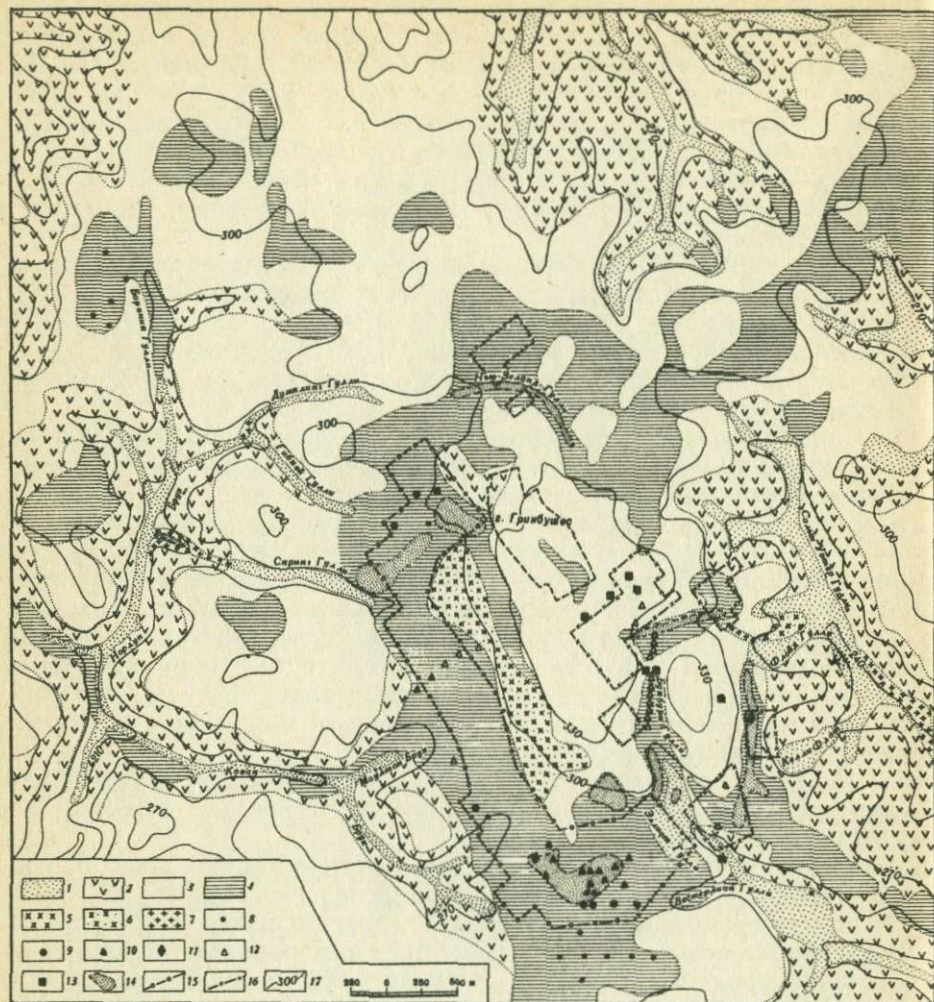


Рис. 7. Геологическая карта рудного поля Гринбушес (Западная Австралия) (Ellis, 1965)

Четвертичные отложения: 1 — современный аллювий (пески, гравий, глины); 2 — районы, закрытые глинистыми породами с обломками латеритов. Третичные отложения: 3 — латериты (железистые и алюминиевые), 4 — «древний аллювий» (озерные отложения) — горизонтально залегающие пески, глины, галечники. Докембрий: 5 — зеленокаменные породы, 6 — выветрелые зеленокаменные породы с глиной, 7 — гнейсы (гранулитовые и инъекционные). Установленное содержание (в г/м³) танталита и колумбита: 8 — низкое (местами знаковое); 9 — около 90; 10 — около 175. 11 — около 350; 12 — содержание не указано; 13 — рудники добычи танталита с касситеритом из рудных тел; 14 — участки интенсивной отработки аллювия (главным образом на касситерит), 15 — районы дражных работ; 16 — районы открытых горных работ

существование окатанной гальки кварца вблизи от их коренного залегания. В дополнение к большому острову (центральному) существовал еще ряд мелких островов (в Борониа Гулли, около Спринг Гулли и др.).

«Древний аллювий» (прибрежные отложения) состоит из серии полосчатых глин, песка, гравия, валунов и галечника (в основании пласта). Максимальная его мощность 35 м. Прибрежные отложения являются основным источником касситерита и танталита, которые встречаются преимущественно в галечнике или валунах, лежащих у плотика. Обычно мощность этих отложений колеблется от 7 до 18 м, в эксплуатационных разрезах она составляет 5—7 м. Отдельные участки «древнего аллювия» имели чрезвычайно высокие содержания касситерита. Например, на участке в районе Эллиот Гулли содержание касситерита достигало 234 кг/м³.

Распределение танталита в прибрежных отложениях изучено хуже, но интересные данные были получены для «древнего аллювия» южной части поля между верховьями рек Ковен Брук и Эллиот Гулли, где в аллювии, примыкающем к более повышенной части участка, содержание танталита в среднем составляло более 175 г/м³. При удалении от возвышенности (на 200—300 м) оно падает до 90 г/м³, а еще далее (приблизительно на таком же расстоянии) в древнем аллювии отмечаются уже только низкие содержания танталита (см. рис. 7). Распределение танталита в «древнем аллювии» свидетельствует об отложении последнего в прибрежно-морских условиях. Прибрежные отложения часто располагаются на белой или голубой глине, представляющей собой продукты изменения докембрийских пород, и, в свою очередь, перекрываются латеритом.

Гобсон и Матерсон (Hobson, Matheson, 1949) приводят разрез «древнего аллювия» (озерных отложений), подстилающих и перекрывающих его пород в районе Бунбури Гулли:

1. Наносы с латеритной галькой, количество которой увеличивается к основанию пласта (современный аллювий 0,7 м;
2. Цементированный бокситоносный латерит 3,0 м;
3. Белая глина с хорошо окатаной галькой кварца (древний аллювий) 1,7 м;
4. Белая глина (вероятно, реликты коры выветривания метаморфических пород).

Западнее и юго-западнее г. Гринбушес имеется обширный район распространения белых песков под покровом латерита мощностью в несколько метров. Они также относятся к «древнему аллювию» и в них находится большое количество старых выработок, из которых добывался касситерит.

Почти на всей площади района, в том числе и на «древнем аллювии», залегает покров латерита (2—20 м) или обломков латерита в глинистой массе. В большей части латеритов обычны округленные валуны или мелкие гальки кварца. По составу латериты меняются от железистых до бокситоносных.

Все вышеописанные отложения размываются современными потоками и отлагаются в пониженных участках долин и логов в виде современного аллювия, состоящего из несцементированных песков и глин (не более 7 м). Содержание касситерита и танталита в нем значительно ниже, чем «в древнем аллювии», но в пределах района известны площади, особенно по Спринг Гулли, где работы производились на участке шириной до 60 м и глубиной до 4 м. В ряде мест трудно провести границу между современным и «древним» аллювием.

В последние годы Горным Департаментом Австралии проведены поисково-опробовательские работы, в результате которых выделена большая площадь для эксплуатационных дражных полигонов и несколько небольших площадей для открытых горных работ.

В районе Гринбушес всего выделено 27 млн. м³ элювия и аллювия, содержащего в среднем 210 г касситерита и 22 г танталита на 1 м³ песков.

Для открытых горных работ оконтурены участки на площади 1,6 км² с кубатурой более 8 млн. м³ песков, содержащих в среднем 325 г касситерита и 36 г. танталита на 1 м³. Эллис (Ellis, 1965) приводит следующий разрез аллювиальных отложений дражного полигона (сверху вниз, в скобках — содержание концентрата на 1 м³): желтые пески (290 г) — 0—2 м, грубые кварцевые песчаные глины (290 г) — 2—3,5 м, тонкие песчаные глины до 4—4,5 м, белые глины (185 г) — 3,5—5 м, желтые глины, в основном с кварцевой галькой (105 г) — 5—7 м, желтые глинистые илы с тонким песком (56 г) — 7—8 м. Среднее содержание тяжелых минералов (концентрата) на дражном полигоне составляет 3,5 кг/м³, но местами оно доходит до 22,7 кг.

Типичный состав тяжелых минералов в концентрате дражного полигона показан в табл. 13.

Соотношение касситерита и тантало-ниобатов сильно варьирует в различных участках аллювия рудного поля Гринбушес — от 3:1 до 20:1, при среднем отношении 10:1. С 1965 г. в пределах дражного полигона начались добычные работы. В 1966 г. добыча танталитового концентрата увеличилась с 2 до 3 т в месяц.

Ряд месторождений сосредоточен в районе Порт Хедленда (Пильбара). Данные о них приведены в работах Эллиса (Ellis, 1950) и Боули (Bowley, 1945).

Месторождение Воджина расположено в 85 км южнее Порт Хедленда. Оно являлось наиболее крупным месторождением танталита, к концу 1957 г. здесь было добыто 168 т концентрата из элювия и делювия и 54,9 т из коренных пегматитов. Небольшие участки аллювия в западной части склона Маккарти Крик разрабатывались на глубину до 5 м. Содержание танталита в аллювии колебалось от следов до 1,05 кг/м³. Черновые концентраты имели следующий состав (в %): касситерит 29, гематит и ильме-

Состав и содержание тяжелых минералов в пробе аллювия
дражного полигона, в объемн. %

Минерал	Фракция, мм			
	+0,2	-0,2+0,147	-0,147+0,1	-0,1
Танталит	Следы	1,5	2,0	1,5
Касситерит	6,5	2,5	Следы	Следы
Циркон	3,0	2,0	4,0	2,0
Ильменит	29,5	30,0	62,0	76,0
Железистый рутил (непрозрач- ный)*	43,0	44,0	19,0	4,0
Рутил (просвечивающий)	1,5	2,0	4,0	3,5
Ставролит	3,0	2,0	1,0	1,0
Турмалин	Следы	2,0	2,0	1,0
Апатит	—	Следы	—	1,0
Гетит	2,5	4,0	1,0	8,0
Магнетит	10,0	10,0	4,0	2,0
Всего	100	100	100	100

* Химический анализ: TiO_2 —55%; Fe—22%; Nb—0,1%.

нит—25, танталит—23, магнетит—20, гранат, рутил и эпидот—3 (Hudson, 1954).

Работы в пятидесятых годах, в основном, проводились на элювиальных участках пегматитовой дайки, на протяжении около 200 м на глубину до 300 м в открытом карьере. Разрабатывался элювий пегматита со средним содержанием танталита около 150 г/т, а также аллювий с содержанием около 1,2 кг/м³ концентрата.

Аналогичные месторождения, связанные с пегматитами и образующимися при их выветривании и переотложении их материала элювиальными и делювиальными отложениями, известны у Стрелли, Табба-Табба, Пилгангура, Хоустон Крик и т. д.

На танталитовых месторождениях Северных территорий суммарная добыча к концу 1947 г. составила менее 12 т танталитового концентрата. Среднее содержание Ta_2O_5 в концентрате обычно не превышало 45%. Танталит, в основном, сосредоточен в рыхлых отложениях трех участков в районе Порта Дарвин-Вест Арм, Бинос Харбор и Финниш-Ривер (Noakes, 1949; Williams, 1939). В районе Порта Дарвин широко развиты докембрийские породы, представленные слюдистыми и кремнистыми сланцами, песчаниками и кварцитами, в которых располагаются дайки гранитов, пегматитов, грейзены и кварцевые аплиты с оловянным и танталовым оруденением. В районе Финиш-Ривер мелкие дайки гранитов сменяются крупным массивом порфиroidных гранитов Литчфилд. На его восточном контакте встречаются многочисленные пегматитовые жилы и дайки грейзенов с касситеритом и танталитом.

Район Вест Арм расположен в 15 км южнее Порты Дарвин. Здесь имеется большое количество пегматитовых жил, но они обычно содержат мало танталита. Последний добывался из элювия и аллювия мелких ключей. Большая часть этих россыпей сложна для разработки из-за частых разливов. В Кинг-Тэбл крупные образцы танталита до 600 г весом были получены из сильно каолинизированной грейзенизированной пегматитовой дайки (до 3 м). В 4 км западнее расположены элювиальные и аллювиальные месторождения. Танталит встречается на глубине от 0,5 до 2,0 м и более, главным образом в мелкозернистых песчаных отложениях.

Район Бинос-Харбор расположен в 25 км юго-западнее Порты Дарвин. Сравнительно небольшие количества танталита здесь добыты вместе с касситеритом и золотом из элювия и аллювия, в которых он концентрируется.

Район Финниш-Ривер является наиболее перспективным в пределах Северной территории, и здесь к концу 1947 г. было получено около 10 т танталового концентрата. Основная масса танталита и касситерита добывалась из делювия, который содержит рыхлый материал, сползающий по склону ниже обнажений пегматитовых даек. Частично танталит был получен из каолинизированной части дайки пегматита более 200 м длиной и мощностью 30 м.

Элювий был опробован буровыми скважинами в 1944 г. Установлено, что около 38 тыс. м³ рыхлого материала со средней мощностью 0,6 м содержат в среднем 0,5 кг/м³ танталита. Некоторые из древних долин в этом районе содержат танталит в гравии на коренном ложе ключей под современным аллювием.

В прибрежных песках около устья Джонстон-Ривер, Геральдтон, в 210 км северо-западнее Тоунсвилл в 1905 г. танталит был встречен вместе с золотом, касситеритом, монацитом, платиной, ильменитом, магнетитом, цирконом, гранатом и кварцем. Указывается, что эти пески содержали концентраты, в которых определено 0,7% $Ta_2O_5 + Nb_2O_5$ (Dunstan, 1913). С тех пор новых данных, подтверждающих это сообщение, в литературе не приводилось.

В остальных известных точках Северной территории танталит добывался из разрушенных каолинизированных участков пегматитовых жил (Делни, Аннингие).

В других районах Австралии танталит также связан с пегматитами, продуктами их выветривания и аллювиальными отложениями (Форсайт, Грант, Кулли в Квисленде). Единичные находки танталита, фергюсонита и самарскита известны в Новой Зеландии, однако практического значения они не имеют (Walters, 1961; Hutton, 1950).

6. Месторождения Юго-Восточной Азии

В Юго-Восточной Азии из экзогенных месторождений тантало-ниобатов в Малайзии ежегодно добывается до 100 т колумбит-танталитового концентрата; в отдельные годы перерабатывались шлаки оловоплавильных заводов, содержащие 4—5% Nb_2O_5 и Ta_2O_5 (Ермакова, 1966). В Индонезии колумбит-танталит не добывается, хотя он и является постоянным компонентом оловоносных россыпей. С этими россыпями, из которых в Малайзии и в Индонезии получают более 95% касситерита, и связаны экзогенные концентрации колумбит-танталита. Россыпи входят в мезозойскую оловоносную провинцию, протягивающуюся из южных районов Китая на юг к Бирме, Таиланду, Малайзии и еще южнее — к Зондским островам.

Коренные месторождения олова в этой провинции связаны с гранитоидами и сопровождающими их постмагматическими образованиями. Основные коренные месторождения олова в Малайзии тяготеют к западному склону Главного Хребта, который образован рядом крупных позднеорогенных гранитоидных батолитов, приуроченных к ядрам антиклинальных структур (рис. 8).

Среди гранитоидов выделяются роговообманково-биотитовые и двуслюдяные разновидности. Первые слагают восточный меридиональный пояс гранитоидов и имеют триасовый возраст. Вопрос о возрасте двуслюдяных гранитов западного пояса является спорным, скорее всего они сформировались в верхнем триасе — юре (Постельников и др., 1964).

С роговообманково-биотитовыми гранитами связаны месторождения железа, золота, меди, молибдена, свинца и цинка, а с двуслюдяными гранитами — месторождения олова, вольфрама, ниобия и тантала.

Детальная характеристика оловоносных гранитов в литературе отсутствует. Известно, однако, что среди них преобладают порфировидные граниты, которые по периферии массивов часто переходят в аплитовидные граниты и кварцевые порфиры. В гранитах часто наблюдаются зоны грейзенизации с турмалином, а в палеозойских известняках на контакте с массивами образуются турмалин-корундовые скарны (Маркова, Орлова, 1956).

Коренными источниками олова в Малайзии являются: 1) пегматиты с касситеритом и турмалином (штаты Кедах и Джохор), 2) кварцевые жилы с касситеритом и вольфрамитом, 3) кварцево-сульфидные жилы с касситеритом и арсенопиритом, 4) кварцевые жилы с шеелитом и касситеритом (Беляевский, 1964). Среди этих коренных источников наибольшее значение имеют, очевидно, 2-й и 3-й типы; значение пегматитов, по-видимому, невелико.

Гидротермальнопневматолитовые месторождения касситерита, как правило, не содержат собственных минералов тантала и ниобия, а если и содержат в небольших количествах, то эти минералы представлены наиболее ниобиевыми разновидностями колумбита (Кузьменко, Лебедева, 1964). В таких месторождениях тантал и нио-

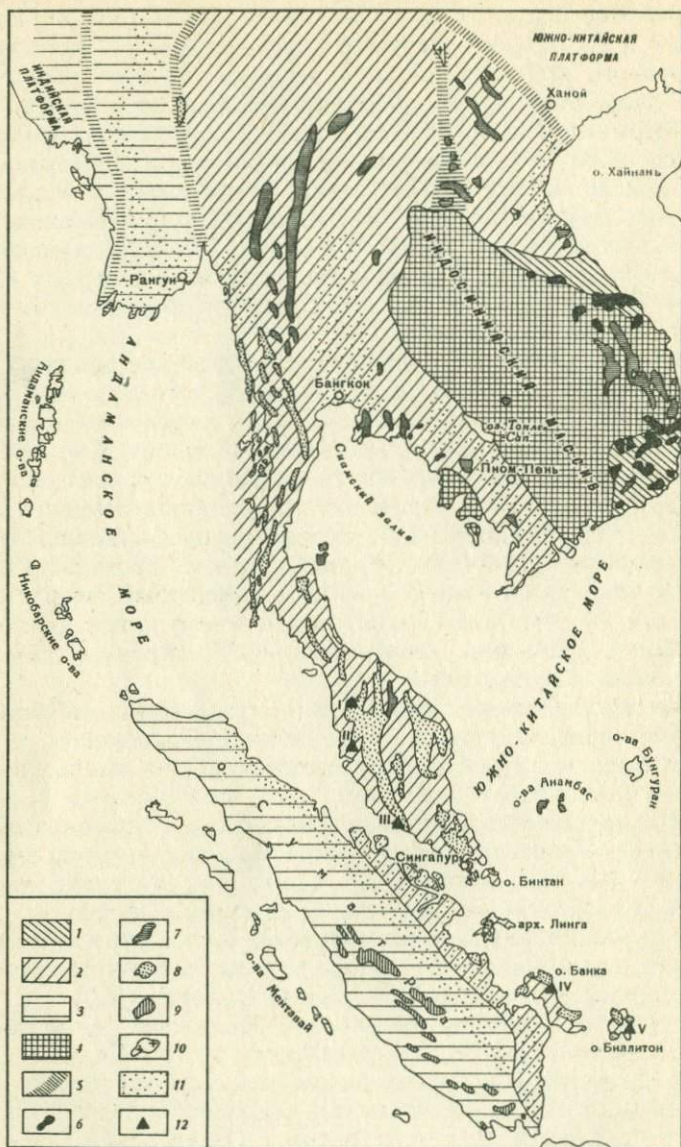


Рис. 8. Основные месторождения тантало-ниобатов Юго-Восточной Азии (геологическая основа дана по Постельникову и др., 1964)

1 — герциниды; 2 — мезозониды; 3 — альпиды; 4 — древние массивы; 5 — зоны крупных разломов; 6 — герцинские щелочные граниты; 7 — мезозойские роговообманко-биотитовые граниты; 8 — мезозойские мусковит-биотитовые граниты; 9 — ларамийские и более молодые граниты; 10 — граниты неустоановленного возраста; 11 — крупные районы молодого осадконакопления; 12 — основные оловянные россыпи с колумбитом: I — Семелинг, II — долина Кинта, III — Бакри, IV — о. Банка (Сунгайлчат), V — о. Биллитон

бий обычно рассеиваются в касситерите. В малайских россыпях касситерит, как правило, обогащен ниобием и танталом, а тантало-ниобаты, встречающиеся в этих россыпях совместно с касситеритом, представлены минералом, промежуточным между колумбитом и танталитом. Поэтому вряд ли коренной источник касситерита является одновременно и главным источником тантало-ниобатов.

Одним из наиболее вероятных, но вряд ли единственным, коренным источником тантало-ниобатов несомненно являются пегматиты. Можно, очевидно, высказать предположение о том, что в Малайзии тантало-ниобаты могут быть связаны с зонами или участками гранитов, подвергшимися интенсивному метасоматозу (альбитизированные и грейзенизированные граниты — «апограниты»). Известно, что в Юго-Восточной Азии, в пределах характеризуемого «олово-вольфрамового» мезозойского пояса грейзеновые процессы проявлены более широко, чем пегматитовый процесс (Недумов, 1965). Известно также, что к северу от Малайзии, в Южном Китае, обнаружены типичные редкометальные апограниты с тантало-ниобиевой минерализацией.

Возможность существования среди гранитоидов Малайзии и Индонезии редкометальных апогранитовых разностей подтверждается широким развитием в этих гранитоидах процессов грейзенизации, обогащенностью их бором, фтором (Маркова, Орлова, 1956), находками в элювиальных россыпях, связанных с гранитоидами, минералов группы микролита-пироклора (Кун, 1960), а также другими данными.

В третичное время гранитоиды Малайского пояса подверглись интенсивному выветриванию в условиях тропического климата; процессы выветривания продолжаются и сейчас. Граниты в Малайзии затронуты выветриванием повсеместно на глубину более 12 м (Scrivenor, 1931). Образование коры выветривания явилось предпосылкой концентрации тантало-ниобатов в экзогенных отложениях.

Скопления тантало-ниобатов в коре выветривания известны на месторождении Семилинг, находящемся на о-ве Пенанг, в 40 км к северу от Джорджтауна. Здесь касситерит и колумбит образуют элювиальную россыпь в коре выветривания гранитов массива Кеда-Пик. При размыве коры выветривания эти минералы концентрировались в шлейфах аллювиальных наносов рек Буйанд, Семилинг, Кери и других с максимальной мощностью не более 3 м. Эти россыпи обычно не выходят за пределы массива и содержание в них колумбита за его пределами резко уменьшается. Отношение касситерита и колумбита изменяется от 20:1 до 4:1, в среднем составляя 10:1.

Сведения о содержании тантала в россыпях неясны. Г. С. Ермакова (1966) сообщает, что в них имеется 0,2—0,8% $(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_5$ (при отношении $\text{Nb}:\text{Ta}=4:1$)! По Куну (Кун, 1960), содержание касситерита в россыпях составляет 0,2—0,3 кг/м³; если учесть, что отношение касситерита к колумбиту обычно здесь равно

10:1, то содержание колумбита в россыпи не должно превышать 20—30 г/м³, что значительно меньше содержаний, указываемых Г. С. Ермаковой (1966), но более правдоподобно.

Другим примером концентрации колумбита в корях выветривания является оловорудное месторождение Бакри вблизи г. Малакка, связанное с гранитным массивом Букин-Диндинг площадью в 17 м². Здесь элювиальные россыпи локализуются в коре выветривания у эндоконтакта массива. Имеются сильнокаолинизированные жилы и дайки пегматитов (протяженность — несколько километров, мощность — до 500 м). В перекрывающей и граниты и пегматиты коре выветривания оруденение концентрируется в зоне площадью 7×4 км. Мощность коры — 5 м и более; в 1950 г. здесь было получено 120 т колумбит-танталита.

Колумбит-танталит распространен также в районе долин рек Пари и Кинта. Здесь находятся одни из наиболее крупных в мире экзогенных месторождений касситерита. Наиболее значительными из них являются месторождения в так называемых «слоях Гопенга», сложенных песчано-глинистыми отложениями. Каолинизированные граниты и осадочные породы пересекаются жилами каолинизированных пегматитов, встречаются кварцевые и кварц-

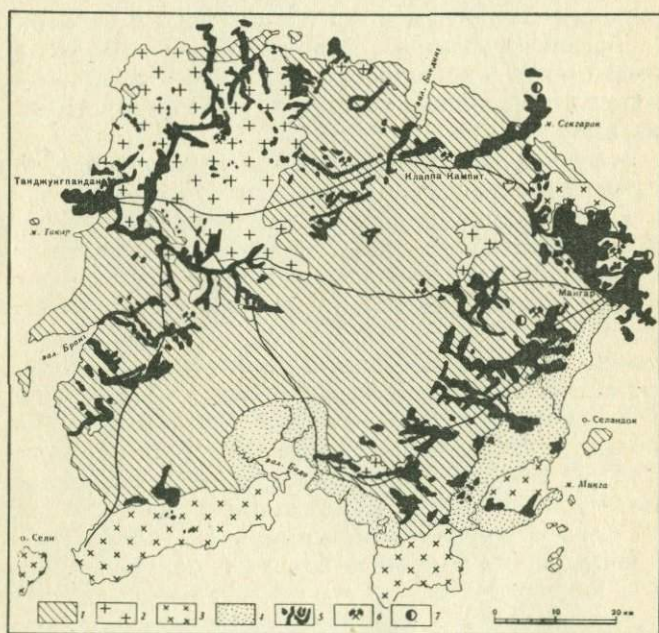


Рис. 9. Схематическая геологическая карта острова Биллитон (Van-Ovegeet, 1960)

1 — каменноугольно-пермские песчаниково-сланцевые отложения; 2 — посттриасовые оловоносные граниты; 3 — посттриасовые гранодиориты (неоловоносные); 4 — древне-четвертичные морские отложения; 5 — аллювиальные россыпи касситерита; 6 — первичные (коренные) месторождения олова; 7 — участки дражных разработок

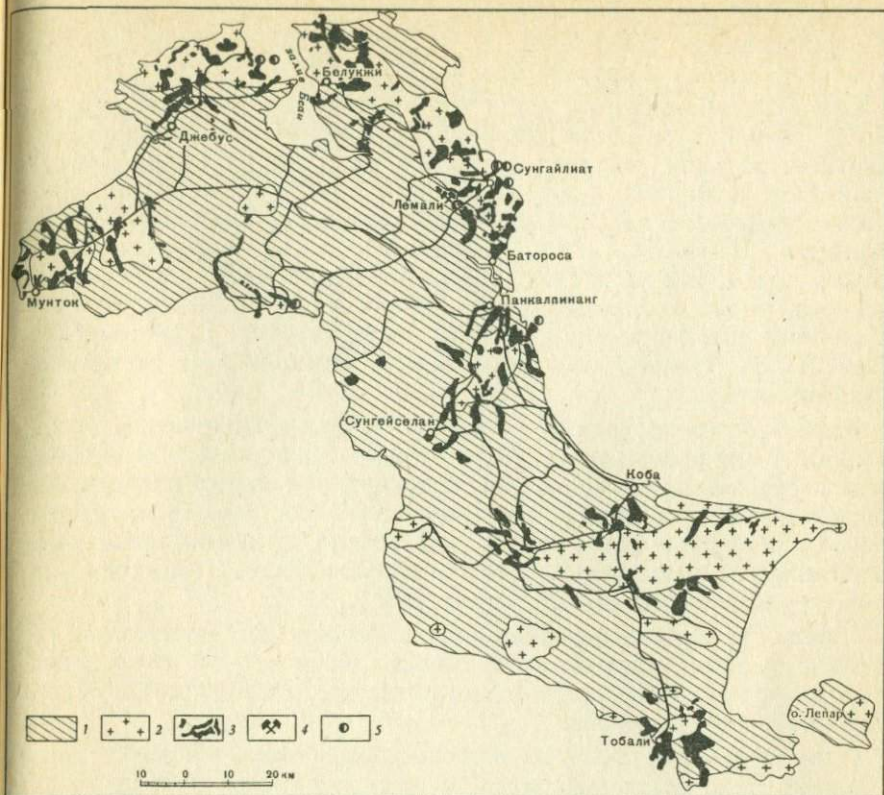


Рис. 10. Схематическая геологическая карта острова Банка (Van-Bemmelen, 1960)

1 — каменноугольно-пермские песчаниково-сланцевые отложения; 2 — посттриасовые оловоносные граниты; 3 — контуры аллювиальных россыпей; 4 — первичные (коренные) месторождения олова; 5 — участки дражных разработок

полевошпатовые жилы. «Слой Гопенга» или «новые аркозы», вероятно, являются корой выветривания (возможно частично перетолженной), перекрывающей граниты и контактирующие с ними известняки. Касситерит встречается по всей толще «слоев Гопенга» в количестве до 6 кг/м^3 (Маркова, Орлова, 1956), с ним постоянно ассоциирует и колумбит, попутно извлекаемый при добыче касситерита, однако сведения о его содержании в коре выветривания отсутствуют.

Колумбит совместно с касситеритом присутствует также в плиоцен-плейстоценовых аллювиальных россыпях в долине р. Кинта. Россыпи часто локализуются в известняковых желобах-ловушках. Тантал и ниобий встречаются в виде танталит-колумбита, редких комплексных тантало-ниобатов, тапиолита, а также в составе касситерита и ильменорутила. Содержание танталит-колумбита составляет обычно несколько процентов от веса касситеритового концентрата, в самом минерале содержится до 40% Ta_2O_5 .

Тантал и ниобий — постоянные спутники олова в россыпных месторождениях Индонезии, в частности, на островах Банка, Биллитон, Синкеп и других (рис. 9 и 10).

Среди касситеритовых россыпей выделяются россыпи, связанные с древней корой выветривания, остаточные элювиально-делювиальные россыпи («кулит» и «крикил»), а также аллювиальные и прибрежно-морские. Сведения как о содержании тантало-ниобатов в россыпях, так и о распределении их в разных типах отсутствуют. Имеются лишь указания о постоянной ассоциации касситерита с колумбитом в россыпях (Куп, 1960). Особенности касситеритовых россыпей достаточно полно даны Ван-Бемеленом (Van-Bemelen, 1949), а в советской литературе Г. Б. Жилинским (1963, 1965). Однако следует обратить внимание на следующие обстоятельства.

Коренные концентрации тантала и ниобия в Индонезии обычно связаны с порфировидными биотитовыми гранитами, для которых характерны зоны грейзенизации, штокверки и жилы кварц-касситеритового и полевошпат-касситеритового состава (последние — в зонах экзоконтакта). Граниты интенсивно изменены процессами выветривания, невыветрелые разности оловоносных гранитов фактически отсутствуют (Wing-Easton, 1937).

Мощность коры выветривания на оловоносных гранитах, в частности в районе Пемали на о. Банка, достигает 40—60 м. Здесь эти глинистые элювиальные отложения разрабатывались как касситеритовая россыпь.

Характерно, что контуры аллювиальных россыпей касситерита с колумбитом, образовавшихся за счет перемыва продуктов выветривания, обычно не выходят за пределы материнских интрузий. Содержание колумбита в касситеритовых концентратах из элювиальных и аллювиальных россыпей составляет 0,2—4,0 %.

Важную роль в добыче касситерита в Индонезии играют так называемые прибрежно-морские россыпи на островах Банка и, особенно, Биллитон. Сведения о наличии колумбита в этих россыпях отсутствуют, однако постоянная ассоциация касситерита и колумбита в других экзогенных месторождениях Индонезии позволяет «прибрежно-морские» россыпи островов Биллитон и Банка иногда рассматривать в качестве танталоносных. Поэтому некоторые исследователи делают вывод о возможности высоких концентраций тантало-ниобатов в прибрежно-морских россыпях вообще (Гурвич, 1966).

Однако прибрежно-морские россыпи о. Биллитон концентрируются на участках прибрежной полосы, в непосредственной близости от коренных источников касситерита — гранитов с развитой на них корой выветривания. Перенос рудного материала от коренного источника был небольшим и, следовательно, эти россыпи относятся к типу россыпей ближнего сноса.

Прибрежно-морские россыпи островов Банка и Биллитон представляют собой подводное продолжение наземных элювиаль-

ных и аллювиальных россыпей¹, которые были затоплены трансгрессирующим морем в постплиоценовое время (Жилинский, 1965; Van-Overeem, 1960; Wing-Easton, 1937).

Таким образом, предположительно танталоносные прибрежно-морские россыпи являются весьма специфическим образованием; его нельзя полностью отождествлять с типичными россыпями водоемов, для которых концентрации тантало-ниобатов не характерны.

¹ Изредка они находятся на приподнятых террасах.

Глава 3

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКЗОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТАНТАЛО-НИОБАТОВ

Экзогенные месторождения тантало-ниобатов связаны с корами выветривания и россыпями, однако разграничить их не всегда легко. Остаточные накопления устойчивых в зоне гипергенеза тантало-ниобатов в корях выветривания можно рассматривать как элювиальные россыпи. Между ними и рудоносными делювием и аллювием верховий рек часто существуют постепенные переходы.

В большинстве случаев коры выветривания и россыпи с тантало-ниобатами связаны с гранитоидами и их производными (пегматиты, грейзены), но встречаются и на щелочных породах, а также на карбонатитах.

В корях выветривания щелочных пород происходит не только механическое накопление ниобия в устойчивых остаточных минералах, но и образование новых его гипергенных минеральных видов — герасимовскит, ниобоанатазовый лейкоксен, гидропироклор и др. (Семенов, 1967).

Значительные концентрации ниобия и тантала образуются при выветривании карбонатитов. Не будет преувеличением сказать, что именно элювиальные образования с пироклором, связанные с карбонатитами, имеют наибольшее практическое значение при освоении этого типа месторождений. Отношение $Nb_2O_5:Ta_2O_5$ в рудах этого типа обычно низкое и составляет 50—70. Однако в последнее время выявлены карбонатитовые руды с гатчеттолитом, содержащим 10—20% Ta_2O_5 , что позволяет рассматривать некоторые карбонатитовые месторождения как комплексные — тантало-ниобиевые.

Наконец, следует указать на лопаритовые россыпи, связанные с щелочными породами, имеющие, как правило, незначительные масштабы.

В настоящее время наибольшее практическое значение имеют коры выветривания и россыпи, связанные с гранитоидами и их производными. Анализ приведенных в предыдущих главах сведений о зарубежных месторождениях этого типа позволяет сделать следующие выводы об условиях их формирования.

Танталоносные коры выветривания образуются преимущественно в условиях гумидного, обычно тропического климата.

Обычно зарубежные танталоносные и ниобиеносные коры имеют молодой возраст — не древнее эоценового, чаще моложе, вплоть до современного.

В корях выветривания аридного климата, так же как и в элювии, образующемся в итоге морозного выветривания, обычно накопления тантало-ниобатов не происходит, так как выветривание сводится главным образом к физической дезинтеграции коренной породы без заметного выноса ее легкорастворимых компонентов.

Чаше всего месторождения тантала и ниобия связаны с корями выветривания платформенного типа (по определению В. Н. Разумовой и Н. П. Хераскова, 1963), хотя известны примеры их образования в условиях геосинклинального режима (Индонезия, Малайзия). Наиболее благоприятными геоморфологическими условиями для образования кор выветривания обладает слаборасчлененный рельеф типа плато.

Обычно танталоносные коры выветривания являются площадными, линейные коры выветривания с тантало-ниобатами имеют ограниченное распространение.

Все зарубежные танталоносные коры выветривания, а также россыпи, пространственно и генетически связаны с коренными эндогенными породами, несущими тантало-ниобиевую минерализацию, которая чаще всего сама имеет практическое значение. Такими коренными породами являются редкометалльные, обычно оловоносные и литиеносные пегматиты с танталитом, танталит-колумбитом, касситеритом, лепидолитом, бериллом и другими редкометалльными минералами (Борборема и Назарену в Бразилии, Идиба, Манон в Республике Заир, Альто-Лигонья в Мозамбике и т. д.). В связи с редкометалльными, слюдоносными и хрусталеносными пегматитами танталоносные коры выветривания обычно не образуются. Из редкометалльных пегматитов наиболее перспективными коренными источниками являются полнодифференцированные микроклин-альбитовые, альбитовые и альбит-сподуменовые разности, в которых при весьма высоком абсолютном содержании тантала наблюдается выгодное отношение $Nb_2O_5 : Ta_2O_5$ (до 1—3). Коры выветривания микроклиновых пегматитов обычно мало перспективны в отношении танталоносности.

Крупные месторождения в корях выветривания образуются лишь при выветривании весьма мощных, обычно пологопадающих пегматитовых жил и при условии достаточной насыщенности ими пегматитового поля. Так, на полях типа Северного Лугулу мощность жил составляет часто десятки (иногда сотни) метров, а насыщенность ими площади пегматитового поля очень велика (до 20—40%).

Если выветриванию подвергаются единичные, маломощные и рассредоточенные жилы, хотя и содержащие высокие концентрации тантала, то образуются или мелкие месторождения практи-

чески небольшого значения или наблюдается даже разубоживание полезного компонента в элювиальных отложениях.

Промышленные коры выветривания образуются в связи с субщелочными альбитизированными («колумбитоносными») гранитами типа плато Джос в Северной Нигерии, а также в связи с гранитоидными массивами с оловоносными грейзенами, кварц-касситеритовыми и полевошпат-касситеритовыми жилами (Малайзия, Индонезия).

Не известно, но принципиально возможно образование концентраций тантало-ниобатов в корях выветривания на массивах альбитизированных и грейзенизированных гранитов с микролитовой, танталит-колумбитовой минерализацией («апограниты»). Возможно, что именно к этому типу относятся упомянутые выше коры выветривания Малайзии и Индонезии.

Коры выветривания, связанные с субщелочными колумбитоносными гранитами (типа плато Джос), характеризуются значительным преобладанием ниобия над танталом ($\text{Nb}_2\text{O}_5 : \text{Ta}_2\text{O}_5 = 8-12$), наоборот, коры выветривания пегматитов часто отличаются явно танталовой специализацией (в некоторых случаях тантал преобладает над ниобием).

Для известных промышленных кор выветривания характерна незначительная относительная (в 1,5—2 раза) концентрация минералов тантала и ниобия по сравнению с породами коренного источника, что обусловлено самими особенностями процессов выветривания (обычный вынос 40—50% легкорастворимых веществ).

Можно считать достаточно твердо установленным, что при выветривании обычных гранитов, с кларковыми или близкими к ним содержаниями тантала и ниобия, без значительной самостоятельной танталовой минерализации, не могут образоваться высокие концентрации тантало-ниобатов и в корях выветривания. Очевидно то же относится и к пегматитам, содержащим мало тантала и ниобия. Отношение $\text{Nb}_2\text{O}_5 : \text{Ta}_2\text{O}_5$ в корях выветривания практически не изменяется по сравнению с коренными породами, если в последних эти элементы концентрируются преимущественно в виде самостоятельных минералов. Однако оно может изменяться, если тантал и ниобий сосредоточены в легко разрушающихся при выветривании слюдах, полевых шпатах и других минералах, что связано с неодинаковой подвижностью тантала и ниобия в зоне гипергенеза — часто в процессе выветривания наблюдается значительное уменьшение $\text{Nb}_2\text{O}_5 : \text{Ta}_2\text{O}_5$, что свидетельствует о более предпочтительном накоплении тантала в коре выветривания по сравнению с ниобием (Подпорина, 1968).

Характерна наблюдающаяся в корях выветривания, как и в их коренных источниках, ассоциация тантало-ниобатов с литиевыми, оловянными и, в меньшей степени, вольфрамовыми минералами. Отсутствие этой минерализации являетсястораживающим отрицательным фактором при оценке экзогенных месторождений.

Распределение содержаний минералов тантала и ниобия по

профилю выветривания изучено плохо. Например, на плато Джос (и в ряде других случаев) максимальная концентрация тантало-ниобатов наблюдается в верхних, наиболее выветрелых, каолиновых зонах профиля. Однако нет гарантии в том, что эта закономерность абсолютно верна, так как в природе часты размывы верхних горизонтов коры с последующим возобновлением (часто неоднократным) выветривания, что приводит к трансформации профиля выветривания и к усложнению распределения в нем полезных компонентов.

Распределение тантало-ниобатов по площади коры выветривания обычно отличается значительной неравномерностью, связанной с неравномерностью их распределения в коренном источнике. Коренные породы, обогащенные танталом и ниобием, коры выветривания и россыпи обычно образуют единый рудный комплекс (например, колумбитоносные гралиты плато Джос, связанные с ними коры выветривания и россыпи).

Согласно классификации редкометальных россыпей, разработанной в ИМГРЭ Н. П. Херасковым, К. В. Потемкиным и А. Н. Спициным (1960), выделяются три геологических типа редкометальных россыпей.

Первый тип — это россыпи ближнего сноса, куда относятся элювиальные, делювиальные, пролювиальные месторождения, часть флювиогляциальных и морены горных ледников. Коренным источником этих россыпей является либо интрузия с повышенным против кларка содержанием полезных минералов, либо коренные месторождения или поля месторождений различных генетических типов. Россыпи обычно имеют небольшую длину, концентрация полезных компонентов не на много превышает концентрацию в коренном источнике.

Вторым типом являются россыпи водоемов. Сюда относятся прибрежные россыпи океанов, морей, крупных озер и часть эоловых (переотложенные концентрации в прибрежных дюнах). Коренным источником этих россыпей являются обширные площади, сложенные кислыми изверженными или метаморфическими породами, породами древних щитов или полосы метаморфических пород с интрузиями гранитоидов в герсинклинальных зонах. Многократная денудация, особенно в районах с широко развитыми корами выветривания, поставляла акцессорные минералы, которые концентрировались в этих россыпях. Россыпи водоемов делятся на три подтипа: современные и четвертичные россыпи морей и океанов, древние ископаемые россыпи и метаморфизованные россыпи. Характерной минеральной ассоциацией для россыпей водоемов является циркон, монацит и минералы титана. Россыпи часто достигают очень больших размеров.

Третьим типом россыпей являются россыпи водного потока, куда входят собственно аллювиальные месторождения, часть флювиогляциальных и эоловых (концентрации в речных дюнах). Ведущие компоненты этих россыпей — благородные металлы. Ми-

нералы редких элементов не дают здесь крупных концентраций, в какой-либо степени сравнимых с россыпями водоемов.

Все зарубежные танталоносные и ниобиеносные россыпи относятся к типу россыпей ближнего сноса. Среди них, в свою очередь, могут быть выделены делювиально-аллювиальные россыпи (россыпи верховьев рек) и флювиогляциально-аллювиальные россыпи.

Как уже отмечалось выше, тантало- и ниобиеносные россыпи образуются лишь в связи с обогащенными тантало-ниобатами коренными источниками — с пегматитовыми полями и, значительно реже, с массивами или зонами альбитизированных, микроклинизированных или мусковитизированных гранитоидов или с грейзеновыми зонами.

В частности, россыпи, связанные с субщелочными колумбитоносными гранитами, играли видную роль в мировом балансе добычи ниобия в Нигерии. Сейчас они почти полностью вырабатаны, особенно на богатых участках, связанных с распространением колумбитоносных гранитов фазы Рейфильд-Гона и Форум. Других примеров промышленных россыпей, связанных с разрушением колумбитоносных гранитов, в мировой практике не известно.

Без преувеличения можно сказать, что коренной источник большинства мелких танталитовых россыпей — пегматиты или грейзены. Если многочисленные боковые притоки размывают пегматитовые поля и переносят танталит в главную артерию, то россыпь по этой главной реке может иметь очень большую протяженность. Подобные россыпи могут содержать значительные запасы танталита и колумбита, отличаясь неравномерным их содержанием около устьев мелких притоков, впадающих в крупную водную артерию (как бы своеобразные и несколько размытые «конуса выноса»).

Необходимым условием образования крупных танталоносных россыпей ближнего сноса является наличие на коренных породах развитых кор выветривания (плато Джос в Нигерии, Республика Заир, Малайзия). В корях выветривания происходит предварительное «обогащение» рудного компонента, дезинтеграция вмещающей породы, что способствует отделению тантало-ниобатов от легкой вымываемой при эрозии кор выветривания глинистой массы и дальнейшей аккумуляции тантало-ниобатов в россыпях.

Крупные россыпи образуются при условии большой площади выходов коренных минерализованных пород и их кор выветривания, то есть при условии перебива и переработки большого объема исходной породы.

Несмотря на то, что в большинстве стран танталовые минералы добываются из россыпей, имеется очень мало наблюдений об их распределении в россыпях и полностью отсутствуют экспериментальные данные. Имеются только разрозненные сведения о переносе тантало-ниобатов водными потоками, которые позволяют сделать некоторые предварительные выводы.

В условиях аллювиального переноса минералы группы танта-

лит-колумбита в весовых количествах наблюдаются на расстоянии до 5—7 км от коренного источника. Далее вниз по течению встречаются только единичные мелкие зерна. Основная масса танталовых минералов оседает на протяжении первых 2—3 км, обычно еще в пределах материнской интрузии или пегматитового поля.

Аналогичная картина наблюдается и на крупных аллювиальных россыпях Африки (р. Северная Лугулу). Небольшие многочисленные и короткие притоки р. Северной Лугулу, текущие из приконтактной зоны гранитного интрузива, где широко развиты пегматиты, грейзены и зоны вкрапленного танталита, выносят танталит и касситерит в долину основной реки. Длина притоков 400—3200 м, ширина 10—30 м, мощность аллювия 1,5—6 м. Аллювий притоков содержит основную промышленную массу танталита и касситерита. В долине р. Северной Лугулу, за счет выноса из боковых притоков, образуется протяженная россыпь более 10 км длиной. Ширина аллювиального пояса на контакте гранитов со сланцами от 2 до 5 км. При удалении на 7—8 км от гранитного массива обнаруживаются только следы касситерита, а танталит исчезает ранее.

Степень истирания зерен определяется расстоянием переноса. Установлено, что крупнокристаллический колумбит не спускается по рекам далее 0,5 км от коренного источника, а при переносе колумбита на 4 км в россыпи встречаются только пластинки в 50 мм. На более дальние расстояния часто переносятся только мельчайшие пластинки колумбита в виде взвеси.

Таким образом, ожидать появления аллювиальных россыпей, содержащих колумбит-танталит, учитывая приведенные выше наблюдения, можно на расстоянии не более 4—5 км от коренного источника.

Минералы ряда микролит-пирохлор являются еще более хрупкими, чем колумбит-танталит. Вероятно, этим и объясняется редкость находок микролита и, особенно, пирохлора в россыпях. Ярким подтверждением этому являются наблюдения над микролитом в одной из россыпей СССР (Трохачев и др., 1968).

Обычно россыпи, особенно связанные с пегматитовыми полями, имеют длину, редко превышающую 1,5—2,0 км (максимальная длина промышленной части одной из разведанных россыпей около 5 км), ширину до 60—100 м и промышленный пласт от 2 до 5 м (редко более до 10—11 м). Россыпи, получившиеся в результате разрушения альбитизированных гранитов, имеют значительно большие размеры.

Как правило, в россыпях, образованных в результате эрозии пегматитовых полей, не наблюдается (за исключением небольших мелких линзообразных струй) значительной концентрации тантало-ниобатов по сравнению с содержанием их в пегматитовых жилах. Это объясняется разубоживанием рудного материала пегматитовых жил в россыпи, вследствие поступления больших ко-

личеств гравия и песка из пород, не содержащих тантало-ниобатов.

Если россыпь образуется в результате размыва измененного гранитного массива и залегает в его краевой части, то содержание тантало-ниобатов в россыпи может быть значительно выше, чем в коренных породах. В этом случае также наиболее обогащенной является часть россыпи, прилегающая к массиву измененных гранитов.

В поперечном разрезе россыпи (исключая ее верховья) нередко наблюдается повышение содержания тантало-ниобатов от бортов россыпи к центральной части.

В ряде россыпей, характеризующихся сравнительно однородным составом, отмечается заметное увеличение содержаний тантало-ниобатов от верхних слоев к приплотиковым. В частности, наблюдения на одной из россыпей в СССР показали следующие увеличения содержаний тантало-ниобатов с глубиной (если принять содержание на глубине 0,7 м за единицу): на глубине 2,6 м в 1,4 раза, а на глубине 4,6 м в 6,2 раза и на глубине 1,75 м содержание в 3,8 раза больше, чем на глубине 0,7 м.

Максимальное обогащение тантало-ниобатами в россыпи связано с грубозернистыми дресвяно-песчаными и дресвяно-галечными пластами и горизонтами. Тонкозернистые пласты и пропластки, состоящие из песчано-глинистого и глинистого материала, обычно характеризуется очень низким содержанием тантало-ниобатов. Часто отмечается слабая окатанность зерен тантало-ниобатов, указывающая на поступление их из близлежащего коренного источника.

В россыпях водного потока, к которым относятся протяженные россыпи крупных рек, старичных озер и речных дюн, накопления тантало-ниобатов, как правило, не происходит из-за их быстрой истираемости. Существующие крупные речные россыпи связаны с выносом танталовых минералов боковыми притоками. Обычно у устья такого притока наблюдается высокое содержание тантало-ниобатов, которое вниз по течению быстро падает и к устью следующего притока резко уменьшается. У устья следующего притока наблюдается снова повышение содержания и т. д. В плане такая россыпь представлена рядом линз с максимумами содержаний у устьев танталоносных боковых притоков.

Неизвестны также накопления тантало-ниобатов в россыпях водоемов.

Относительная хрупкость минералов тантало-ниобатов (танталита, колумбита и особенно микролита) приводит к почти полному их истиранию при многократном переотложении в условиях образования прибрежно-морских россыпей. Следовательно, выявление здесь промышленных концентраций танталовых минералов почти исключено.

При наличии обогащенных танталовыми минералами коренных источников (пегматиты и альбитизированные и грейзенизированные граниты), расположенных около прибрежной полосы,

в прибрежно-морских отложениях могут образовываться участки с бедным танталовым оруденением. Эти участки могут представлять значительно больший интерес при размыве кор выветривания, обогащенных танталовыми минералами и располагающихся на полях пегматитов или массивах гранитов.

Наиболее вероятно образование прибрежных россыпей с танталовыми минералами в небольших внутренних мелководных бассейнах, где наблюдается значительно меньшая абразионная деятельность (Пятнов, 1968). В таких условиях не происходит полной сортировки рыхлого материала и танталовые минералы могут сохраниться вместе с грубозернистой частью осадков. Примером такого месторождения следует считать озерные отложения района Гринбушес (Австралия).

Таким образом, известные сейчас концентрации тантало-ниобатов в прибрежно-озерных или даже в прибрежно-морских условиях не могут быть отнесены к типу россыпей водоемов. Их возникновение определяется рядом специфических условий — наличием выходов коренных минерализованных пород в непосредственной близости от берегов водоема (то есть отсутствие дальнего переноса минералов), затоплением морем аллювиальных россыпей с последующей их частичной переработкой в прибрежной зоне и т. д.

Анализ геологических и минералогических особенностей зарубежных экзогенных месторождений тантало-ниобатов позволил нам разработать их классификацию (табл. 14). Естественно, что эта классификация, вероятно, потребует уточнения в дальнейшем, однако нам кажется, что она дает достаточное представление о типах экзогенных месторождений рассматриваемых элементов.

Рассмотренные выше данные об условиях формирования и особенностях размещения зарубежных экзогенных месторождений тантало-ниобатов могут, как нам кажется, использоваться в качестве общих оценочных критериев при определении перспектив танталоносности кор выветривания и россыпей в различных регионах СССР.

Главнейшие геологические типы и характер танталоносных кор выветривания и россыпей

Главные коренные источники тантано-ниобатов	Гранитоиды и связанные с ними образования			Щелочные породы	Карбонатиты
	Редкометалльные пегматиты (и некоторые типы грейзенов)	Апограниты			
		альбитизированные грейзенизированные граниты	биотитовые альбитизированные граниты		
Характерная минеральная ассоциация тантало-ниобаты и основные рудные минералы	Танталит-колумбит, танталит, берилл, касситерит, сподумен, лепидолит	Танталит-колумбит, микролит, касситерит	Колумбит, циркон, минералы TR, касситерит	Порохлор, лопатит, циркон, минералы TR	Пирохлор (гачеттолит), колумбит, перовскит, бадделейт, циркон
Отношение Nb:Ta	0,03:3	1:3	7:10	9:23	25:75
	Танталовые и тантало-ниобиевые месторождения			Существенно ниобиевые месторождения	
Характерные кренные месторождения	Бразилия (плато Борборема, Назарену), Австралия (Гринбушес), Республика Заир	СССР (Восточная Сибирь)	Нигерия (плато Джос)	Северо-Запад СССР	Бразилия (Барейру-ди-Араша)
Образование коры выветривания	Кора выветривания	Линейные коры выветривания. В большинстве случаев мелко и среднемасштабные. Часто характерны очень высокие содержания танталита-колумбита и крупные размеры кристаллов. Коры как аридного, так и гумидного климата (Бразилия, Республика Заир, Конго, Австралия)	Не установлен	Крупные площадные коры выветривания. Запасы колумбита могут быть очень большими; содержание достигает 500—700 г/м ³	Участки площадных кор выветривания. Могут обладать большими запасами ниобия. Иногда ниобий собственных минералов не дает и связан с титановыми минералами в бокситах (США, Арканзас)
					Коры выветривания площадные и линейные. Мощность достигает 30—60 м. Большие запасы при содержании ниобия до 1—2% (Бразилия, Барейру-ди-Араша. Гачетолитсодержащие коры выветривания могут рассматриваться как комплексное тантал-ниобиевое сырье (Nb:Ta=6—10).

Россыпи ближнего сноса	Делюви- альные и де- лювиально- аллювиаль- ные россыпи	Обычно многочислен- ные мелкомасштабные россыпи. В благоприят- ных условиях, сливаясь, мелкие россыпи дают крупные протяженные россыпи. Часто с высо- ким содержанием танта- лита. Республика Заир, (Идиба, Лугулу)	Небольшие по протяженню и небогатые по содержанию россыпи с мик- ролитом, танта- лит-колумбитом и касситеритом (СССР, Восточ- ная Сибирь)	Крупномасштабные богатые россыпи колумбита в ре- зультате размыва и переотложения кор выветривания Нигерия (плато - Джос)	Наибольшие и бедные делювиальные россыпи. Танталоннобаты в аллювии наб- людаются редко благодаря быстрому ис- тиранию. Исключением являются бед- ные россыпи лопарита.	
	Флювиог- циально-ал- лювиальные россыпи	Известны мелкие и бедные россыпи (СССР)	Не известны		Не известны за исключением бед- ных россыпей ло- парита	Не известны
	Прибреж- но-озерные россыпи	Образуются в прибреж- ной зоне в непосредст- венной близости от ко- ренного источника (Ав- стралия, Гринбушес)	Не известны			
	Прибреж- но-озерные и моренные россыпи		Не известны		Бедные россыпи лопарита	Не известны
Россыпи водного по- тока	Россыпи аллювиаль- ных долин		Не известны			
Россыпи водоемов	Прибрежно- морские рос- сыпи		Не известны			

ЛИТЕРАТУРА

- Апельцин Ф. Р., Фельдман Л. Г. Колумбитоносные граниты.— Геология месторождений редких элементов. Госгеолтехиздат, 1958, вып. 2.
- Асоян Н. С. Нигерия. Географиз, 1963.
- Бабко А. К., Лукачина В. В., Набиванец Б. И. Растворимость и кислотно-основные свойства гидратов окисей тантала и ниобия.— Ж. неорг. хим., 1963, № 8.
- Беляевский Н. А. Оловянная минерализация в Малайе.— Разведка и охрана недр. 1964, № 9.
- Беус А. А., Северов Э. А., Ситнин А. А., Субботин К. Д. Альбитизированные и грейзенизированные граниты (апограниты). Изд-во АН СССР, 1962.
- Бойко Т. Ф. Редкие элементы в солях и соленосных отложениях.— В кн. «Минералогия, геохимия и генетические типы месторождений редких элементов». Изд-во «Наука», 1966, т. 3.
- Бородин Л. С. Карбонатитовые месторождения редких элементов.— В кн. «Минералогия, геохимия и генетические типы месторождений редких элементов», т. 3. Изд-во «Наука», 1966.
- Бурков В. В., Пятнов В. И. Условия формирования и размещения танталоносных кор выветривания и россыпей.— Редкие элементы (сырье и экономика), вып. 3. Изд. ИМГРЭ, 1969.
- Бурков В. В., Потемкин К. В., Пятнов В. И. Основные генетические типы экзогенных месторождений тантала. Тезисы докладов VIII Всесоюзн. литологич. совещ., 1968.
- Бурков В. В., Бойко Т. Ф., Потемкин К. В., Пятнов В. И., Подпорина Е. К. Коры выветривания и россыпи — перспективный сырьевой источник тантала.— В кн. «Коры выветривания Урала». Изд-во Саратовск. гос. ун-та, Саратов, 1969.
- Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры.— Геохимия, 1962, № 7.
- Герасимовский В. И., Карпушина В. А. О содержании ниобия и тантала в Нигерийских гранитах.— Геохимия, 1967, № 6.
- Гурвич С. И. Редкометалльные россыпи и перспективы их поисков в СССР.— Разведка и охрана недр, 1966, № 4.
- Денисов И. А. О генезисе латеритов и латеритных почв Центрального Конго.— В сб. «Проблемы почвоведения». Изд-во АН СССР, 1962.
- Ермакова Г. С. Ниобий и тантал.— В кн. «Минеральные ресурсы стран капиталистического мира» (Годовой обзор ВГФ и МГ СССР). Изд-во ВГФ, 1966.
- Еськова Е. М. Ниобий.— В кн. «Минералогия, геохимия и генетические типы месторождений редких элементов», т. 1. Изд-во «Наука», 1964.
- Жилинский Г. Б. Оловянные месторождения Индонезии.— Изв. АН Казах. ССР, серия геол., 1963, вып. 1 (52).
- Жилинский Г. Б. Генетические типы оловянных россыпей Индонезии, методика их поисков и разведки.— В кн. «Геология россыпей», Изд-во «Наука», 1965.
- Колотухина С. Е., Первухина А. Е., Рожанец А. В. Геология месторождений редких элементов Африки. Изд-во «Наука», 1964.
- Колотухина С. Е., Григорьева Л. Я., Клавовская Л. И., Первухина А. Е., Потемкин К. В. Геология месторождений редких элементов Латинской Америки. Изд-во «Наука», 1968.

Крайнов С. Р. Особенности распределения и формы миграции редких элементов (Nb, Ta, Be) в природных водах с щелочной реакцией.— *Геохимия*, 1968, № 3.

Краускопф К. Осадочные месторождения редких металлов.— В кн. «Проблемы рудных месторождений». ИЛ, 1959.

Кузьменко М. В., Еськова Е. М. Тантал и ниобий. Генетические типы месторождений и геохимия. Изд-во «Наука», 1968.

Кузьменко М. В., Лебедева С. И. Минералы тантала и ниобия.— В кн. «Минералогия, геохимия и генетические типы месторождений редких элементов», т. 2. Изд-во «Наука», 1964.

Маркова Е. И., Орлова Е. В. Минеральные ресурсы Индонезии, Малайи, Таиланда. Госгеолтехиздат, 1956.

Москвич М. М. Минерально-сырьевые ресурсы в капиталистических странах (Be, Li, Nb и Ta). Изд-во «Недра», 1965.

Мэкин И. Х., Шмидт Л. И. Урансодержащие и торийсодержащие минералы в россыпных месторождениях Айдахо.— В кн. «Материалы I Междунар. конф. по мирному использ. атомной энергии». Госгеолтехиздат, 1958, т. 6.

Недумов И. Б. Роль геологических факторов в формировании пегматитов и некоторых других эндогенных месторождений, связанных с гранитами.— В кн. «Новые данные по геологии, геохимии и генезису пегматитов». Изд-во «Наука», 1965.

Пачаджанов Д. Н. К геохимии ниобия и тантала в глинах.— *Геохимия*, 1963, № 10.

Пачаджанов Д. Н., Бандуркин Г. А., Мигдисов А. А., Гирин Ю. П. Некоторые данные к геохимии марганцевых конкреций Индийского океана.— *Геохимия*, 1963, № 5.

Подпорина Е. К. Тантал и ниобий в корах выветривания некоторых гранитов Средней Азии.— Докл. АН СССР, 1968, т. 181, № 2.

Постельников Е. С., Затонский Л. К., Афремова Р. А. Тектоническое развитие структуры Индокитая.— Труды ГИН АН СССР, 1964, вып. 108.

Пятнов В. И. К вопросу об образовании прибрежно-морских россыпей тантало-ниобатов.— *Литология и полезные ископаемые*, 1968, № 4.

Пятнов В. И. Касситерито-танталитовый район Гринбушес (Западная Австралия). Редкие элементы (сырье и экономика). Изд. ИМГРЭ, 1969, вып. 3.

Разумова В. Н., Херасков Н. П. Геологические типы кор выветривания и примеры их распространения на Южном Урале.— Труды ГИН АН СССР, 1963, вып. 77.

Ронов А. Б., Мигдисов А. А. Основные черты геохимии элементов — гидрозлитов в процессах выветривания и осадконакопления.— *Геохимия*, 1965, № 2.

Рябцев К. Г. Редкие и рассеянные элементы в железных рудах осадочно-метаморфических месторождений.— В сб. «Геология и полезн. ископаемые Курской магнитной аномалии». Изд-во «Недра», 1967.

Сазыкин Н. С., Стругова Л. И. О минерально-сырьевой базе ниобиевой и танталовой промышленности капиталистических и развивающихся стран.— *Цветные металлы*, 1969, № 1.

Северов Э. А. К вопросу о генезисе ниобийсодержащих гранитов.— Изв. АН СССР, серия геол., 1962, № 1.

Семенов Е. И. К минералогии ниобия и тантала в коре выветривания.— В кн. «Минералогия пегматитов и гидротермалитов щелочных массивов». Изд-во «Наука», 1967.

Страхов Н. М. Основы теории литогенеза, т. 1. Изд-во АН СССР, 1960.

Тон-Сук-Юнь. Месторождения урановых и ториевых руд в Южной Корее.— В кн. «Материалы I Междунар. конф. по мирному использ. атомной энергии». Госгеолтехиздат, 1958, т. 6.

Трохачев П. А., Бабкин А. С., Сун-Кин-Зян В. В. С поведением и концентрации пирохлор-микролита и танталит-колумбита в россыпях.— Изв. Забайкал. фил. Географ. об-ва СССР, 1968, т. 4, вып. 1.

Херасков И. П., Потемкин К. В., Спицын А. И. К вопросу о закономерностях образования редкометалльных россыпных месторождений.— В сб. «Вопросы накопления и распределения тяжелых минералов в прибрежно-морских песках», Рига, 1960.

Холодов В. Н. Редкие элементы в месторождениях фосфоритов.— В кн. «Минералогия, геохимия и генетические типы месторождений редких элементов», т. 3. Изд-во «Наука», 1966.

Холодов В. Н., Корякин А. С. Редкие элементы в месторождениях бокситов.— В кн. «Минералогия, геохимия и генетические типы месторождений редких элементов», т. 3. Изд-во «Наука», 1966.

Ясырев А. П. Распределение микроэлементов в глауконитах Русской платформы.— Докл. АН СССР, 1966, т. 168, № 4.

Ahlfeld F. Zinnstein und Tantalitlagerstätten in Brasilien.— Z. Erzbergbau und Metallhüttenwesen, 1956, 6, N 7.

Almeida R. P. A. de. The pegmatites of Borborema (Brazil).— Rev. escola minas, 1951, 16, N 4.

Armstrong F. C. Dismal Swamp placer deposit. Elmore County. Idaho.— U.S. Geol. Surv. Bull., 1957, 1042-K.

Atlas of Australian Resources Mineral Deposits. Canberra. 1953.

Bowley H. The mineral Resources of Western Australia. Perth, W. Australia, 1945.

Brooks I. H. Occurrence of Beryl and Tantalite, Crystal M. L. 5560. Mica Creek, Mount Isa.— Queensl. Govt. Mining. Journ, 1965, 66, N 760.

Chadwick L. S. Chemical composition of Nigerian Columbite.— Colon. Geol. Min. Res., 1951, 2, N 4.

Dixey F. Nigeria — Geology and mineral resources.— Bull. Imp. Inst, 1945, 43, N 4.

Dixey F. The morphology of the Jos Plateau.— Bull. Geol. Surv. of Nigeria, 1949, N 19, App. 1.

Dunstan B. Queensland Mineral Index and Guide. Departmets of Mines, Queensland, Brisbane, 1913.

Dutra E. B. Relatoria da Diretoria, 1955—56—57. Rio de Janeiro.— Rep. Estados Unidos Brasil, Ministerio minas e energia, Dept. nacl. produgao mineral, Div. fomento produgao mineral, 1962, N 104.

Els H. A. Some Economic aspects of the principal Tantalumbearing Deposits of the Pilbara Goldfield, Nort West Division.— West. Australia. Geological Survey 1950, N 104.

Ellis H. A. The Greenbushes Tin-Tantalite District.— Fifth Empire Mining and Metallurgical congress Australia and New Zealand. Geology of Australian Ore Deposits, 1953, 1.

Ellis H. A. Tin-Tantalum ore deposits of Greenbushes.— Eighth commonwealth Mining and Metallurgical Congress Australia and New Zealand. Geology of Australian Ore Deposits, 1965, 1.

Falconer J. D. The geology of the Plateau tin fields.— Bull. Geol. Surv. Nigeria, 1921, N 1.

Gillson J. L. Deposits of heavy minerals on the Brazilian coast.— Mining Engng. 1950, 187, N 6.

Gordon M., Murata K. Minor elements in Arkansas Bauxite.— Econ. Geol., 1952, 47, N 2.

Gordon M., Tracey J. I., Ellis M. W. Geology of the Arkansas bauxite region.— U. S. Geol. Surv. Profess. Paper, 1958, № 299.

Greenwood R. Geology of the Plateau Tinfields (Interim Report № 1).— Geol. Surv. Dept. Nigeria, 1945.

Greenwood R. Geology of the Plateau Tinfields (Interim Report № 2).— Geol. Surv. Dept. Nigeria, 1946.

Greenwood R. Jounger intrusive rocks of Plateau Province Nigeria, compared with the alkalic rocks of New England.— Bull. Geol. Soc. America, 1951, 26, № 10.

Haag H. L. Wolfram in Nigeria, with notes on cassiterite, wolfram and columbite zones.— Bull. Inst Mining and Metallurgy. London, 1943, № 458—459.

Hodson R. A., Matheson R. C. Greenbushes mineral field.— West. Aust. Geol. Survey 1949.

Hudson S. B. Electrostatic separation test on Tantalite-columbite alluvial from Pilbara.—W. A. Mining Department, Ore Dressing Investigation, Melbourne, 1954, № 484.

Hutton C. O. Studies of Heavy Detrital Minerals.—Bull. Geol. Soc. Amer. 1950, 61.

Jacobson R. R. E., Cawley A. MacLeod W. N. The occurrence of Columbite in Nigeria.—Geol. Surv. of Nigeria. 1951, № 9.

Jacobson R. R. E., MacLeod W. N., Balck R. Ring—complexes in the Younger granite Province of Northern Nigeria.—Mem. Geol. Soc. 1958, № 1.

Jacobson R. R., Snelling N. J., Trunswell J. F. Age Determinations in the Geology of Nigeria, with special Reference to the Older and Younger Granites.—Overseas Geology and Mineral Resources, 1963, 9, № 2.

Jantar Nigeria — Mining Journ., 1962, 258, № 6604.

John T. U., Paulo K. L. A note on the occurrence of columbite in the Younger granites of the Jos Plateau, Nigeria.—Geol. Mag., 1954, 91, № 3.

Johnston W. D. Beryl—tantalite pegmatites of Northeastern Brazil.—Bull. Geol. Soc. America, 1945, 56.

Ivanac I. F. Mineral Resources of Australia.—Summary Report, 1958, № 38.

Kun N. Le gisements de Cassiterite et de Columbo-tantalite du Nord Lugulu, Kivu, Congo Belge.—Ann. Soc. Geologique de Belgique 1958—59, 82.

Kun N. Die Zinn-Niob-Tantal Lagerstätten von Süd-Ost Asien.—Neues Jahrb. Min. Monatshefte, 1960, № 4.

Kun N. Die Zinn-Niob-Tantal-Zircon und Lantaniden-Lagerstätten von Nigerian.—Neues Jahrb. Min., Monatshefte, 1960, № 5.

Kun N. The Economic geology of columbium (niobium) and of tantalum.—Econ. Geol. 1962, 57, № 3.

Kun N. The mineral resources of Afrika, N. Y., 1965.

Larsen E. S., Schmidt R. G. A reconnaissance of the Idaho Batholit and Comprasion with Southern California Batholit.—U. S. Geol. Surv. Bull., 1958, № 1070-A.

Mackay R. A., Greenwood R., Rockingham J. E. The Geology of the Plateau tinfields.—Bull. Geol. Surv. Nigeria, 1949, № 19.

Mackay R. A., Beer B. S., Rockingham J. E. The albite-riebeckite granites of Nigeria.—Geol. survey, Museum, Atomic Energy Division Rept. 1952, № 95.

Mackay R. A. The Columbite-bearing granites Jos Plateau, Nigeria.—Econ. Geol., 1957, 52, № 1.

MacLeod W. N. The geology of Jos-Bukuru Junger Granite complex with particular reference to the distribution of columbite.—Rec. Geol. Surv. Nigeria, 1954.

MacLeod I. R. Australian mineral Industry: The Mineral Deposits.—Commonwealth of Australia. Depart. of National Development Bureau of Mineral Resources, Geology and geophysics. 1965, 72.

Noakes L. C. A geological reconnaissance of the Katherine Darwin Region, Northern Territory.—Bur. Min. Resour. Austr., 1949, № 16.

Nye P. B. and Blake F. Geology and mineral deposits of Tasmania.—Bull. Geol. Surv. Tasm. 1938, 44.

Obdržálek M. Tezba cinu v Nigerii.—Geologický průzkum 1966, N 11.

Putzer H. Die Scheelit-Beryll-Tantalit-Provinz des Hochlandes der Borborema, Nordest-Brasilien.—Z für Erzbergbau und Metallhüttenwesen 1957, 10, N 1.

Rankama K. On the geochemistry of tantalum.—Bull. Commiss. Geol. Finlande, 1944, N 133.

Rankama K. On the geochemistry of columbium.—Science, 1947, 106, № 2740.

Ross G. B. Tantalum and columbium „Austral. Mineral. Ind. 1963 Rev.“ Canberra, 1964.

Scrivenor J. B. The geology of Malaya. London, 1931.

Sullivan C. G. Tantalum and Columbium.—Min Resour. of Australia. Summ., 1948, N 19.

Van-Bemmelen R. W. The Geology of Indonesia, 1949, 1. 2.

Van-Overeem A. J. The geology of the cassiterite placers of Billiton, Indonesia.—*Geol. en mijnbouw*. 1960, N 10.

Varlamoff N. Granites et mineralisation au Maniema (Congo Belge).—*Ann. Soc. Geol. de Belgique. Memoires (Fascicule 2)* 1949—1950, 73.

Watters W. A., Todd H. J., Sixtus E. J., Fergusonite and samarskite from Canaan, Pikiiruna Range, Nelson.—*New Zealand Journ. of Geol. and Geophys.*, 1951, 4, № 3.

Wais R. I. Armstrong F. C., Rosenblum S. Reconnaissance for radioactive minerals in Washington, Idaho and Western Arisona.—*U. S. Geol. Surv. Bull.* 1958, N 1074-B.

Williams A. E. Tantalite in the northern Territory.—*Ghem. Eng. Min. Rev.* 1939, 31 (367).

Williams F. A., Meehan J. A., Paulo K. L., John T. U. Economic geology of the decomposed columbite-bearing granites, Jos Plateau, Nigeria.—*Econ. Geol.* 1956, 51, № 4.

Williams F. A. The identification and valuation of decomposed columbite-bearing granites of the Jos Bukuru Sounger Granite complex, Nigeria.—*Bull. Inst. Min. Metal.*, 1956, № 591.

Williams F. A. Use of high tension separation in dressing jig concentrate from decomposed columbite-bearing granite, Nigeria.—*Bull. Inst. Min. Metal.*, 1959, 69, № 635.

Wing-Easton N. The tin ores of Banca, Billiton and Singkep, Malay Archipelago.—*Econ. geology*, 1937, 32, № 1, 2.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Глава 1. Краткие сведения о минералогии и геохимии тантала и ниобия	5
Глава 2. Сырьевая база тантала и ниобия за рубежом	11
Месторождения Европы	16
Месторождения Северной Америки	16
Месторождения Южной Америки	20
Месторождения Африки	25
Месторождения Австралии	45
Месторождения Юго-Восточной Азии	53
Глава 3. Геологические особенности экзогенных месторождений тантало-ниобатов	60
Литература	70

Владимир Викторович Бурков, Кирилл Викторович Потемкин,
Валентин Иванович Пятнов

Новые данные о месторождениях кор выветривания и россыпях тантала
за рубежом.

Утверждено к печати институтом минералогии, геохимии и кристаллохимии
редких элементов

Редактор М. Д. Мирзоева

Редактор издательства Т. Б. Гришина

Технические редакторы В. И. Дьяконова, Л. М. Сурикова

Подписано к печати 25/7-72.

Формат бумаги 60×90^{1/16}

Усл. печ. л. 4,75

Уч.-изд. л. 5,2

T-04280

Бумага 2 Тир. 900.

Тип. зак. 1281.

Цена 42 коп

Книга издана офсетным способом
Издательство «Наука»
Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
1-я типография издательства «Наука»
Ленинград, 9-я линия, 12

Цена 42 коп.

470

4

