

В. А. ТЕНЯКОВ, Э. Е. РАКОВСКИЙ, Т. П. ФИЛИПОВА

**РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ И НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ЧЕРТЫ  
ГЕОХИМИИ ЗОЛОТА В БОКСИТАХ (ПО ДАННЫМ  
НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА)**

*(Представлено академиком А. В. Сидоренко 3 XI 1969)*

Настоящая статья представляет собой первую попытку рассмотрения геохимии Au в бокситах различных типов и возрастов, основанную на прецизионном анализе (чувствительность  $1 \times 10^{-8}\%$ , точность 15%).

Анализ полученных данных (табл. 1) позволяют прийти к следующим выводам:

1. По-видимому, частоту встречаемости Au в бокситах следует считать абсолютной, так как оно обнаружено во всех без исключения пробах из всех изученных нами месторождений.

2. Содержание Au в бокситах колеблется в весьма широких пределах — от  $0,0004 \cdot 10^{-4}$  до  $0,0290 \cdot 10^{-4}\%$ , что составляет два порядка. Среднее (среднее арифметическое) содержание Au в бокситах оказалось равным  $0,0045 \cdot 10^{-4}\%$ .

3. Устанавливается некоторое различие в средней распространенности (среднем содержании) Au в бокситах геосинклинальных и платформенных областей; последние оказываются несколько богаче Au, чем первые ( $0,0049 \cdot 10^{-4}\%$  против  $0,0036 \cdot 10^{-4}\%$ ).

4. Выявляется совершенно отчетливая связь содержания Au в бокситах с характером исходных, материнских, пород; оно, как правило, выше в бокситах, предположительно связанных с изверженными или излившимися породами основного ряда, и заметно ниже в бокситах, генетически ассоциирующихся с глинами и глинистыми сланцами (табл. 2).

Касаясь 1-го вывода, необходимо подчеркнуть, что абсолютная частота встречаемости Au в бокситах, с нашей точки зрения, свидетельствует о том, что нахождение в них этого элемента не случайно и, безусловно, контролируется какими-то постоянно действующими факторами.

Сопоставление найденных содержаний Au в бокситах с новейшими оценками распространенности его в основных типах изверженных и осадочных пород (табл. 3) показывает, что средняя распространенность этого элемента в бокситах ( $0,0045 \cdot 10^{-4}\%$ ) весьма близка к средней распространенности его в изверженных и излившихся породах, особенно основного ряда, однако существенно отличается от среднего содержания Au в глинах и глинистых сланцах. Как видно, последние характеризуются заметно более низким содержанием Au, чем бокситы (в среднем). Тот факт, что рассчитанная нами средняя распространенность Au в бокситах оказалась более близкой к средней распространенности Au в более основных породах, может интерпретироваться, с нашей точки зрения, и как дополнительное подтверждение того, что, по-видимому, большая часть бокситов формировалась за счет продуктов латеритного изменения пород именно этого типа.

Из сделанных сопоставлений становится совершенно ясной и основная причина, лежащая в основе различия распространенности Au в бокситах, генетически связанных с различными исходными породами (см. табл. 2). Отдельные отклонения от этой закономерности, которые, как видно из

Распространенность Au в бокситах мира \*

Месторождение — рудопроизведение, регион	Возраст	Исходные (материнские) породы	Au, 10 <sup>-6</sup> % (г/т)	Месторождения — рудопроизведение, регион	Возраст	Исходные (материнские) породы	Au, 10 <sup>-6</sup> % (г/т)
Тихвинское, сев.-зап. Евро- пейской части	C <sub>1</sub>	Песчано-глинистые сланцы	0,0022 (25)	<b>Месторождения платформенных областей СССР</b>			
Туманское, Ю. Тиман	»	Глинистые известняки (?)	0,0056 (9)	Сухолюбинское, Ц. Сибирь	С <sub>1</sub>	Траппы	0,0055 (4)
КМА, центр Европейской части	T <sub>2</sub>	Кварц-серпичт-хлоритовые сланцы	0,0024 (5)	Пыльное, Ц. Сибирь	»	»	0,0054 (2)
Кудьинское, УзбССР	»	Хлоритизированные основ- ные эффузивы	0,0023 (5)	Евлинское, Ц. Сибирь	С <sub>1</sub> -	»	0,0040 (7)
Кайракское, УзбССР	»	То же	0,0018 (7)	Мугайское, С. Урал	»	Основные порфириты и их туфы	0,0068 (5)
Каракельское, УзбССР	»	Хлоритизированные слан- цы	0,0024 (3)	Козьревское, КазССР	»	Снедно-порфириты	0,0012 (11)
Уаринский мост, УзбССР	»	Средние эффузивы	0,0048 (4)	Краснооктябрьское, КазССР	»	Основные и средние порфи- риты	0,0071 (24)
Мичигонское, центр Евро- пейской части	J — C <sub>1</sub>	Сланцевые породы (?)	0,0032 (3)	Макуратское, Пручиннен- таль, КазССР	С <sub>1</sub>	Различные магматические по- роды	0,0009 (2)
Нисонопольское, УССР	С <sub>1</sub>	Амфиболиты, сланцы	0,0004 (10)	Поронинское, Ц. Сибирь	»	Сланцы	0,0022 (12)
Смелыное, УССР	»	Габбро	0,0100 (6)	Верхнеуринское, Ц. Сибирь	»	Траппы	0,0012 (6)
Покромолдское, При- азовье, УССР	»	Базальты (?), щелочные по- роды (?)	0,0120 (4)	Июльквдское, Ц. Сибирь**	»	»	0,0120 (5)
Восточное, Кузнецкий Ала- тау	»	Габбро	0,0037 (8)	Центральное, Ц. Сибирь**	»	Щелочные основные и ультра- основные сланцы	0,0230 (13)
Сарчихинское, вост. окраин- на Зап.-Сиб. низменности	»	Сланцы (?)	0,0013 (2)	Арзамасское, КазССР	С <sub>1</sub> — P <sub>2</sub>	Песчано-глинистые сланцы	0,0010 (31)
Бахор, Индия	С <sub>1</sub>	Траппы	0,0053 (7)	<b>Зарубежные месторождения</b>			
<b>Среднее (среднеарифметическое) содержание в бокситах платформенных областей</b>							
Боксонское, В. Савина	S <sub>1</sub> — C <sub>1</sub>	Основное и ультраоснов- ные породы	0,0010 (6)	<b>Месторождения геосинклинальных областей СССР</b>			
Черемуховское, СУБР, С. Урал	D <sub>1</sub> *	Основные порфириты	0,0056 (41)	Бердское, Салаир	D <sub>1</sub>	Средние и основные эффу- зивы	0,0029 (9)
Алексеевское, ЮУБР, Ю. Урал	D <sub>1</sub>	Основные порфириты (?)	0,0017 (3)	Обуховское, Салаир	»	Средние и основные эффу- зивы	0,0036 (12)
Ивапокулинское, ЮУБР, Ю. Урал	»	Сланцевые породы (?)	0,0073 (4)	Актауское, Ц. Кызыл-Ку- мы, УзбССР	C <sub>1</sub>	Средние и основные эффу- зивы	0,0037 (5)
		Основные порфириты (?)		Басманкерменское, Краям	J <sub>1</sub>	Сланцы (?), основные пор- фириты (?)	0,0007 (8)
				Гударенское, Карпаты	J <sub>2</sub> — J <sub>3</sub>	Сланцы (?)	0,0012 (4)
Игеа, Греция	C <sub>1</sub>	Офиолиты	0,0110 (6)	<b>Зарубежные месторождения</b>			
Драчанац, Югославия	C <sub>1</sub>	» (?)	0,0044 (6)	Нирад-Изамаер, Венгрия	C <sub>1</sub>	Различные породы метамор- фических комплексов (?), перисторимый остаток известняков (?)	0,0017 (7)
				Сэл, Венгрия	»	То же	0,0023 (5)
<b>Среднее (среднеарифметическое) содержание в бокситах геосинклиналичных областей</b>							
Среднее (среднеарифметическое) содержание в бокситах в целом.							

\* В скобках указано число проб, вошедших в среднюю составную пробу. Суммировались основные разновидности бокситов пропорционально их распро-  
страненности на месторождении.

\*\* Чадобинское полезнае, периферия.

табл. 1, все же имеют место (например, в случае бокситов Боксонского и Верхнетеринского месторождений, характеризующихся неожиданно низким содержанием Au), естественнее всего могут быть объяснены теми или иными отклонениями в содержании Au в исходных породах. Однако можно указать и еще на одну, с нашей точки зрения вполне вероятную, причину низкого содержания Au в тех бокситах геосинклинальных областей, в которых ожидалось содержание этого элемента большее, чем найденное. Это — возможное извлечение некоторого количества Au из бокситового вещества в случае отложения последнего в морских водах с высокой насыщенностью свободным O<sub>2</sub> (например, в хорошо аэрируемых прибрежных водах лагун). Как будет показано ниже, в подобных условиях можно ожидать растворения определенной части Au и обеднения им вещества, уходящего в осадок. Очевидно, что оба предполагаемых варианта объяснения требуют специального и конкретного рассмотрения, а также дополнительных экспериментальных данных.

Анализируя степень накопления Au в бокситах по сравнению с земной корой в целом и оценивая коэффициент его концентрации в них, мы

Таблица 2

Группы бокситов (по характеру исходных пород)	Au, 10 <sup>-4</sup> % (r/r)	
	среднее	пределы
Бокситы, предположительно связанные с основными и ультраосновными (изверженными и излившимися) породами	0,0084	0,0012—0,0290
Бокситы, предположительно связанные с глинами и глинистыми сланцами	0,0018	0,0004—0,0024

Таблица 3

Типы горных пород	Au, 10 <sup>-4</sup> % (r/r)	Источник
<b>Изверженные породы</b>		
Ультраосновные	0,0110	(1)
	0,0060	(2)
Основные		
Габбро	0,0082	(1)
	0,0050	(2)
Базальты, диабазы и андезиты континентов	0,0049	(1)
Базальты океанические	0,0100	(15)
Изверженные и метаморфические породы	0,0026	(15)
Средние		
Диориты	0,0034	(1)
	0,0040	(2)
Андезиты	0,0060	(2)
Кислые		
Граниты	0,0020	(1)
	0,0025	(2)
Риолиты, дациты, трахиты	0,0047	(1)
	0,0050	(2)
Изверженные и метаморфические породы	0,0024	(15)
<b>Осадочные породы</b>		
Глины (+ глинистые сланцы)	0,0010	(3)
Песчаники	0,0060	(15)
Карбонаты	0,0025	(15)
<b>Земная кора</b>		
2 части основных + 1 часть кислых пород	0,0043	(3)
С учетом распространенности Au во всех главных типах горных пород	0,0025	(15)
«Континентальная кора» (1 часть базальтов + 1 часть гранитов)	0,0040	(5)
Средневзвешенное для магматических пород	0,0040	(16)

вынуждены считаться с несколько различными оценками распространенности Au в земной коре. Принимая величины А. П. Виноградова<sup>(3)</sup> для земной коры ( $0,0043 \cdot 10^{-4}\%$ ), С. Тейлора<sup>(5)</sup> для «континентальной» коры ( $0,0040 \cdot 10^{-4}\%$ ) и К. Ведеполя<sup>(16)</sup> для «магматических пород» ( $0,0040 \cdot 10^{-4}\%$ ), мы должны сделать вывод, что коэффициент концентрации Au в бокситах составляет примерно 1,0. Учет оценки А. Де Грация<sup>(12)</sup>,  $0,0025 \cdot 10^{-4}\%$ , приводит к заметно иному результату, а именно 1,8, что, безусловно, говорит уже о совершенно отчетливом накоплении Au в бокситах.

Встает вопрос о путях и формах попадания Au в бокситы. Наиболее бесспорным является механическое занесение Au в бокситы в самородном виде и с различными терригенными примесями (отдельные минералы, обломки пород), его содержащими. Во всяком случае, многие исследователи приходят к выводу, что главным образом в этом виде Au мигрирует в природных водах ((<sup>6</sup>,<sup>7</sup>) и др.). Однако можно предположить и другие, не менее вероятные, пути и формы, приводящие к ассоциации Au с бокситовым веществом. Диаграмма устойчивости элементарного Au и различных его простых и сложных ионов в координатах pH — Eh<sup>(8)</sup> показывает, что при выветривании горных пород в условиях высокого окислительно-восстановительного потенциала среды (1,0—1,3 в) оно должно сравнительно легко переходить в раствор и мигрировать. При этом допускается, что в слабнокислой и щелочной среде (pH  $\geq 4,0$ ) это может осуществляться за счет образования аниона  $H_2AuO_3^-$ , а в кислой (при pH  $< 4,0$ ) — за счет  $Au^{3+}$ . Не исключена, а возможно и более вероятна при этом роль галогенидных анионов Au, например  $[AuCl_4]^-$  (<sup>10</sup>,<sup>11</sup>).

Но с этим процессом, ведущим, как понятно, к выносу Au из формирующейся коры выветривания, здесь же должен конкурировать процесс сорбционного связывания его ионов возникающими гидроокислами Fe и Al и каолинитом. Возможно, что некоторое значение при этом играют и сорбирующиеся в процессе выветривания окислы Mn (<sup>4</sup>,<sup>12</sup>). Естественно, что эти же эффекты могут определять и извлечение какой-то части Au бокситовым веществом из вод бассейна седиментации, хотя доля эта представляется весьма малой.

Кроме того, основываясь на данных ((<sup>4</sup>,<sup>7</sup>,<sup>8</sup>,<sup>12</sup>,<sup>14</sup>) и др.), можно прийти к заключению о попадании определенной части Au в бокситы вместе с органическим веществом (возможно, в восстановленном до элементарного состояния виде) и в составе почвенных органических кислот (гуматов).

В соответствии со всеми указанными возможными формами поступления Au в бокситы следует ожидать и примерно соответствующие им формы его нахождения в них.

Всесоюзный научно-исследовательский институт минерального сырья

Поступило  
29 X 1969

Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт  
Москва

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Ю. Г. Щербakov, Распределение и условия концентрации золота в рудных провинциях, «Наука», 1967. <sup>2</sup> Than Kiêu Duong, Chron. mines et Rech. Min., № 343 (1965). <sup>3</sup> А. П. Виноградов, Геохимия, № 7 (1962). <sup>4</sup> T. W. Clarke, The Date of Geochemistry, Washington, 1924. <sup>5</sup> S. R. Taylor, Geochim. et cosmochim. acta, 28, № 8 (1964). <sup>6</sup> F. Haber, Zs. angew. Chem., 40 (1927). <sup>7</sup> Л. В. Разин, И. С. Рожков, Геохимия золота в коре выветривания и биосфере золотых месторождений Курапахского типа, «Наука», 1966. <sup>8</sup> К. Краускопф, В кн.: Проблемы рудных месторождений, Изд. АН СССР, 1958. <sup>9</sup> В. А. Завьялов, О. С. Мальцева, В. Д. Кононенко, В кн.: Микроэлементы в каустоболитах и осадочных породах, «Наука», 1965. <sup>10</sup> А. М. Черняев и др., Геохимия, № 4 (1969). <sup>11</sup> P. L. Cloke, W. C. Kelly, Econ. Geol., 59, № 2 (1964). <sup>12</sup> F. W. Freise, Econ. Geol., 26 (1931). <sup>13</sup> K. Rankama, Th. G. Sahana, Geochemistry, Chicago, 1952. <sup>14</sup> В. В. Щербина, Геохимия, № 5 (1956). <sup>15</sup> A. R. De Grazia, L. Haskin, Geochim. et cosmochim. acta, 28, № 5 (1964). <sup>16</sup> K. H. Wedepohl, Geochem. Samml. Gösch., 1224 (1224a), 1224b, Berlin, 1967.