

О ДИАГНОСТИКЕ И ГЕНЕЗИСЕ ОКИСЛОВ ЖЕЛЕЗА В БОКСИТАХ УРАЛА И ТУРГАЙСКОГО ПРОГИБА ПО МАГНИТНЫМ И ПАЛЕОМАГНИТНЫМ ДАННЫМ

Все бокситы, содержащие окислы железа, магнитны. Большинство из них сохранили естественную остаточную намагниченность, синхронную времени образования окислов. Это позволило применить для изучения бокситов из месторождений Урала и Тургайского прогиба магнитные методы, в том числе палеомагнитный, в комплексе с химическими, минералогическими, рентгеноструктурными исследованиями и мессбауэровской спектроскопией.

Девонские красные бокситы Урала

Магнитные свойства бокситов служат индикатором состава их магнитной фракции. Большинство девонских красных бокситов — маркие, немаркие и часть яшмовидных — слабомагнитны (табл. 1). Как показали

Т а б л и ц а 1

Средние значения магнитных свойств и плотности девонских красных бокситов

Тип боксита	Ед. CGSM · 10 ⁻⁶		$Q = \frac{In}{0,5 \kappa}$	Плотность, г/см ³
	магнитная воспри- имчивость κ	естественная оста- точная намагничен- ность In		
Северный Урал				
Маркие	122	73	1,2	3,04
Немаркие	133	63	1,02	3,09
Яшмовидные				
переходные	163	69	0,85	3,12
типичные	425	89	0,42	3,17
Южный Урал				
Яшмовидные	90	37	0,82	3,17

термомагнитные исследования, их магнетизм связан только с гематитом: наличие гидроокислов железа практически не сказывается ни на магнитной восприимчивости, ни на естественной остаточной намагниченности. Поэтому для марких и немарких разновидностей и яшмовидных бокситов из некоторых месторождений характерен нормальный закон распределения магнитной восприимчивости с вероятностью $p = 0,96 + 1$, естественной остаточной намагниченности с $p = 0,145 + 0,94$ и плотности с $p = 0,999 + 1$.

Для яшмовидных бокситов Северного Урала постоянство состава и, следовательно, магнитных свойств не наблюдается. В них наряду с гематитом содержатся тонкодисперсный и в виде рудной вкрапленности магнетит и титаномagnetит. В зависимости от количества последних и размера их зерен яшмовидные бокситы по магнитным свойствам или близки к марким и немарким, или обладают более высокой магнитной восприимчивостью и естественной остаточной намагниченностью. На основании этого авторы называли слабомагнитные бокситы переходными яшмовидными, а сильномагнитные — типичными яшмовидными.

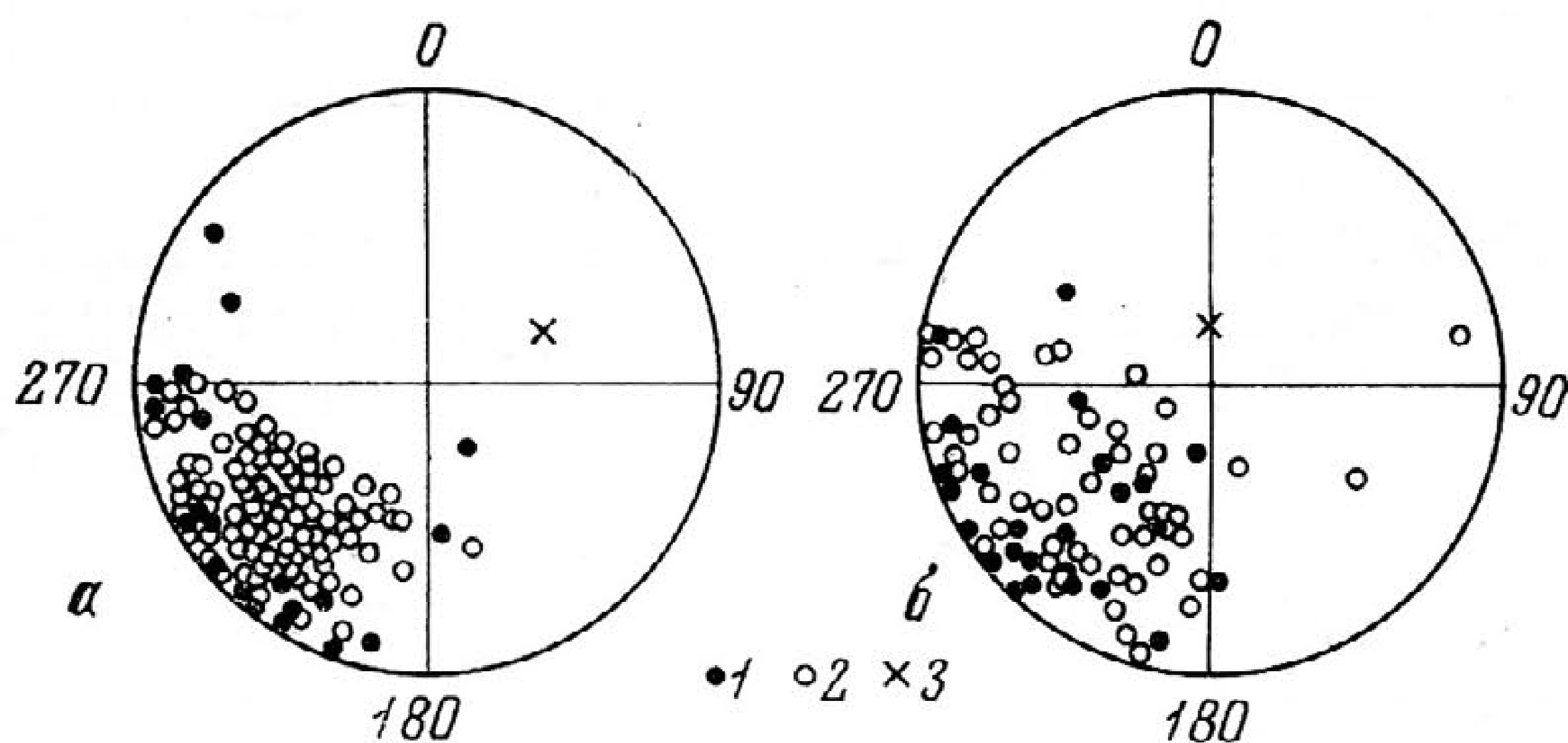
Образцы с вкрапленностью магнетита и тианомagnetита обладают аномальной магнитной восприимчивостью, превышающей нормальную в 10—20 раз. Такие бокситы не сохраняют древнюю естественную остаточную намагниченность. Все остальные бокситы — маркие, немаркие и яшмовидные, за исключением описанных выше, имеют естественную остаточную намагниченность высокой стабильности (Иванов и др., 1964).

Естественная остаточная намагниченность — вектор, который характеризуется магнитным склонением и наклонением. Направление вектора изображается точкой на стереографической проекции. На фиг. 1 показано распределение направлений намагниченности бокситов Северного и Южного Урала: векторы направлены согласно вверх и на юго-запад, противоположно современному геомагнитному полю на Урале — вниз и на север-северо-восток. Такое направление в палеомагнетизме называется обратным.

Распределения направлений векторов подчиняются нормальному закону с вероятностью для Северного Урала: $p_f=0,65$ (радиальное распределение); $p_\alpha=0,70$ (азимутальное распределение); для Южного Урала: $p_f=0,86$; $p_\alpha=0,73$. Это означает, что естественная остаточная намагниченность бокситов, стабильная по носителю-гематиту и обратного знака, является древней намагниченностью, сохранившейся с момента ее образования.

Фиг. 1. Направления естественной остаточной намагниченности девонских красных бокситов

- а — Северный Урал;
- б — Южный Урал;
- 1 — проекции вектора 1 на нижнюю полусферу;
- 2 — проекции вектора 1 на верхнюю полусферу;
- 3 — направление современного геомагнитного поля



Палеомагнитная стабильность бокситов позволяет рассчитать по элементам древнего магнитного поля — магнитному склонению и наклонению — координаты палеомагнитного полюса времени образования гематита (табл. 2) и палеомагнитную широту, которая для месторождений бокситов Северного Урала была 12° с. ш., а Южного Урала — 9° с. ш.

Результаты палеомагнитных исследований бокситов могут быть использованы для выяснения генезиса гематита. При этом большое значение имеет изучение естественной остаточной намагниченности крупных включений в бокситах — бобовин или галек. Они намагничены в том же направлении, что и бокситы.

Если исходить из этих данных и поочередно предполагать наличие в бокситах галек или бобовин, то следует признать, что в первичном бокситовом осадке гематита не было. Действительно, если в формировании бокситов большую роль играли механические процессы, то при размыве первоначального гематитсодержащего бокситового осадка гальки и песчинки были бы хаотически намагничены, а это противоречит полученным результатам. Если же включения в бокситах являются бобовинами, то вещество, из которого они образовались, было в коллоидально-аморфной фазе и в силу физических причин не могло иметь остаточной намагниченности. Последняя возникла, когда вследствие собирательной кристаллизации и дегидратации образовался кристаллический гематит.

Дегидратация в североуральских бокситах происходила, вероятно, в девоне. К концу этого периода бокситы были перекрыты толщей

Т а б л и ц а 2

Палеомагнитные данные девонских красных бокситов

Тип боксита	Градусы			
	элементы древнего поля		координаты северного палеомагнитного полюса	
	склонение	наклонение	долгота	широта
Северный Урал				
Маркие	227	—23	182	31
Немаркие	230	—16	182	26
Яшмовидные				
переходные	223	—32	185	36
типичные	219	—39	186	43
Среднее	227	—23	182	31
Крупные включения (бобовины или гальки)	233	— 6	181	29
Южный Урал				
Яшмовидные	234	—18	172	27

2200 м, которая при средней плотности пород $2,5 \text{ г/см}^3$ давила на пласт с силой 550 кг/см^2 . Температура на глубине 2200 м могла достигать 90°C и более, так как область, где шло бокситонакопление, была молодой геосинклиналью с присущими ей повышенными геотермическими градиентами. Породы находились под этим давлением и при такой температуре в течение миллионов лет. Между тем, как показали лабораторные исследования, достаточно подвергнуть гидроокислы железа давлению 500 кг/см^2 при температуре 100°C в течение 1 час, чтобы в них началось образование гематита и возникла естественная остаточная намагниченность, направленная по земному магнитному полю.

Таким образом, гематит в бокситах образовался химическим путем в результате дегидратации водных окислов железа в сформировавшемся рудном теле в течение девонского периода.

Мезо-кайнозойские каменистые бобовые бокситы Тургайского прогиба

Каменистые бобовые бокситы Аркалыкского и Верхнетобольского месторождений отличаются от девонских составом магнитной фракции. Магнетизм большинства образцов каменистых бокситов обусловлен маггемитом. Несмотря на то, что во всех бокситах есть гематит, магнитные свойства его проявляются только в слабомагнитных образцах. Часть верхнетобольских бокситов содержит более 0,4% магнетита.

Из гидроокислов железа в каменистых бокситах содержатся лепидокрокит и гетит или гидрогетит, которые практически не играют роли в намагниченности, но интересны с точки зрения происхождения маггемита.

Перечисленные выше окислы и гидроокислы железа установлены в бокситах термомагнитным анализом и мессбауэровской спектроскопией, которые были дополнены химическими и рентгеноструктурными исследованиями.

Применение термомагнитного метода основано на необратимом переходе $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ при нагреве. Фазовое превращение магге-

мита в бокситах сопровождалось резким, до 95%, необратимым уменьшением магнитной восприимчивости последних. Характерной чертой изученного маггемита является его термостойкость: маггемит из аркалыкских бокситов переходил в гематит в интервале 450—700° С, из верхнетобольских — 550—700° С.

Маггемит из Аркалыкского месторождения имеет параметр решетки $a=8,335\pm0,005$ Å, гематит — $a=5,02\pm0,01$ Å и $c=13,75\pm0,25$ Å. Среднее содержание первого, определенное по намагниченности насыщения, низкое — 0,3% в каменистых бокситах и 2,5% в сложных бобовинах. Он почти полностью входит в состав бобовин, слагающих боксит. В верхнетобольских бокситах маггемита больше — в среднем 3%, а в простых и сложных бобовинах соответственно — 4 и 2%. По данным мессбауэровской спектроскопии, маггемит из Аркалыка лучше окристаллизован, чем из Верхнетобольского месторождения.

Мессбауэровский метод очень эффективен при изучении тонкодисперсного вещества каменистых бокситов. С помощью этого метода удалось доказать присутствие в бокситах лепидокрокита. Ранее это лишь предполагалось, так как при нагреве бокситов в интервале 150—300° С их магнитная восприимчивость увеличивалась на 10—20%. По данным мессбауэровской спектроскопии, в верхнетобольских бокситах содержится больше лепидокрокита.

О примерном содержании различных окислов и гидроокислов железа в каменистых бокситах можно судить по обр. 94 из Аркалыкского месторождения и обр. 61 из Верхнетобольского, где общее количество Fe_2O_3 определено химическим анализом, а окислов и гидроокислов — магнитным и мессбауэровским методами (в %):

	Fe_2O_3	Лепидокрокит, гетит	Маггемит	Гематит
Обр. 94	29,5	4,4	1,3	23,8
Обр. 61	20,5	10,2	3,6	6,6

Различия, касающиеся маггемита — степень окристаллизованности, термостойкость, содержание отражены в магнитных свойствах бокситов (табл. 3).

Т а б л и ц а 3
Магнитные свойства мезо-кайнозойских каменистых бобовых бокситов

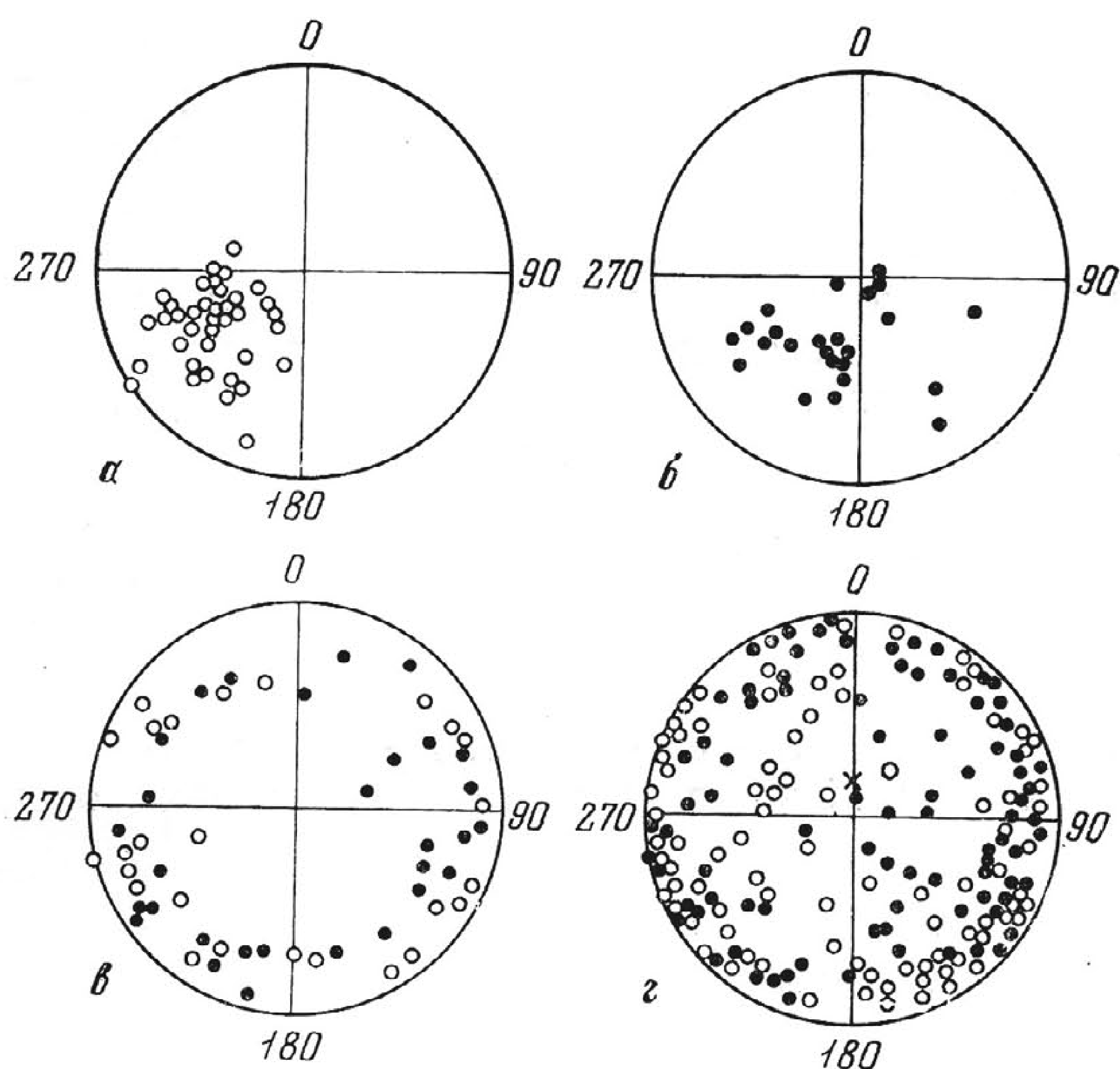
Месторождение	Ед. CGSM·10-6				$Q = \frac{In}{0,5 \text{ \%}}$, среднее
	магнитная восприимчивость κ		естественная остаточная намаг- ниченность In		
	среднее	пределы колебаний	среднее	пределы колебаний	
Аркалыкское	600	1—5 000	17 000	10—554 000	57
Верхнетобольское	4500	350—13 300	2 000	70—347 000	0,9

Если содержание влияет главным образом на магнитную восприимчивость, то степень окристаллизованности определила величину естественной остаточной намагниченности и ее магнитную стабильность. С хорошо окристаллизованным маггемитом, однодоменным по магнитной структуре, связаны высокие значения и магнитная жесткость естественной остаточной намагниченности. Такой маггемит преобладает в аркалыкских бокситах. Слабо окристаллизованный маггемит, частицы которого меньше однодоменных, не способен сохранить древнюю намагниченность или сохраняет только часть ее; он обладает нестабильным или метастабильным остаточным магнетизмом. Этот маггемит характерен

для верхнетобольских бокситов. Однако следует учитывать, что и в тех и в других бокситах встречаются исключения.

Распределение векторов естественной остаточной намагниченности носит сложный характер. Согласно направлению намагниченности наблюдается у магнитоустойчивых образцов каменных бокситов свежего облика, отобранных на небольшом участке рудного пласта, а также у аркалыкских сложных бобовин, выбитых из одного штуфа (фиг. 2, а, б; фиг. 3, а). Объем, в котором бокситы намагничены согласно, небольшой, так как на следующем опробованном участке, на расстоянии 1—4 м от предыдущего, направление намагниченности бокситов иное.

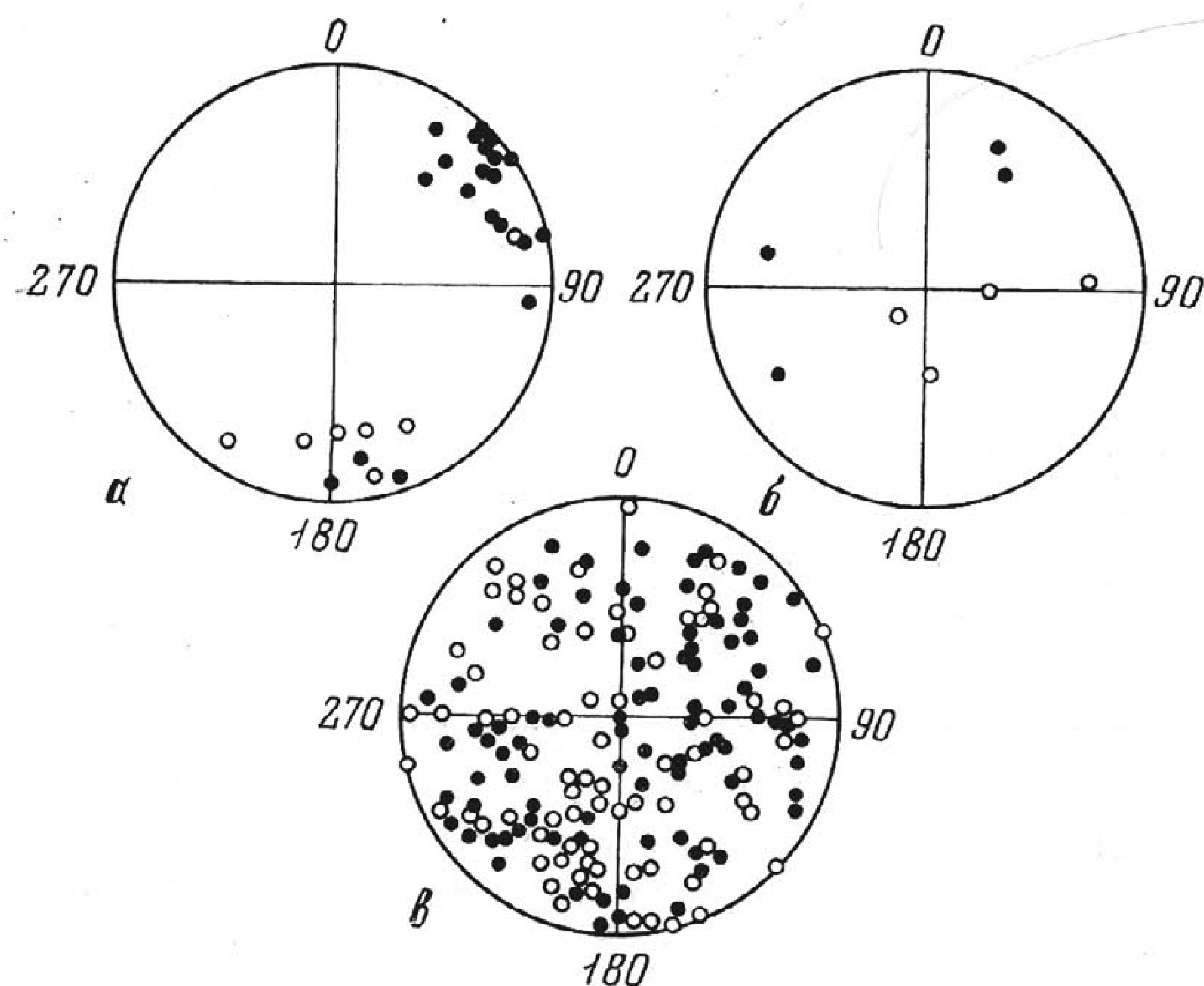
Поскольку отдельные участки рудных тел намагничены по-разному, в целом по месторождениям наблюдается разброс векторов естественной остаточной намагниченности (см. фиг. 2, г; фиг. 3, в). Однако на Аркалыкском месторождении есть закономерность: 93% образцов свежих каменных бокситов из одной части карьера и 68% выветрелых из другой имеют магнитное накопление, изменяющееся в пределах $\pm 30^\circ$



Фиг. 2. Направления естественной остаточной намагниченности аркалыкских каменных бобовых бокситов

а — сложные бобовины;
б — образцы из одной глыбы;
в — образцы из двух карьеров;
г — по месторождению.

Условные обозначения см. фиг. 1



Фиг. 3. Направления естественной остаточной намагниченности верхнетобольских каменных бобовин бокситов

а — южный борт карьера;
б — сложные бобовины;
в — по месторождению.

Условные обозначения см. фиг. 1

(см. фиг. 2, в). Малые углы наклона частиц маггемита лежат в плоскости, близкой к горизонтальной, и, следовательно, сами частицы имеют вытянутую или пластинчатую форму.

Согласное направление намагниченности каменных бокситов и сложных бобовин из Аркалыка можно объяснить только тем, что маггемит, с которым связана их намагниченность, образовался на месте, в рудной залежи. Наличие лепидокрокита в бокситах дает основание считать, что маггемит — продукт дегидратации лепидокрокита. Процесс дегидратации прошел интенсивнее на Аркалыкском месторождении: здесь меньше лепидокрокита и маггемита, но больше гематита и маггемит лучше окристаллизован, чем на Верхнетобольском.

Палеомагнитные данные по железистым галькам из слоя олигоценых пестроцветных глин, перекрывающих бокситы Аркалыкского месторождения, дают возможность уточнить время возникновения на этом месторождении маггемита. Маггемитсодержащие образования намагничены хаотично, что характерно для галек со стабильной естественной остаточной намагниченностью. Следовательно, маггемит был в гальках до их отложения и образовался не позднее олигоцена.

Магнитостабильные сложные бобовины из Верхнетобольского месторождения намагничены также хаотично, т. е. являются гальками (см. фиг. 3, б).

ЛИТЕРАТУРА

- Иванов Н. А., Свяжина И. А., Бычкова Т. И. Магнитные свойства и палеомагнетизм североуральских бокситов.— Труды Ин-та геологии и геохимии Уральск. фил. АН СССР, 1964, вып. 64.
- Свяжина И. А. Палеомагнитные исследования бокситов Аркалыкского месторождения.— В кн.: Теория и практика магнитометрии. № 7. Свердловск, 1968₁.
- Свяжина И. А. Магнитные свойства западно-тургайских бокситов мезозойского возраста.— В кн.: Магнетизм горных пород и палеомагнетизм. М., 1968₂.