

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОСТОЯННОЙ МАГНИТНОЙ ПОМЕХИ НА ПОКАЗАНИЯ МАГНИТО- ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ В ПРОЦЕССЕ РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН НА НЕФТЬ И ГАЗ

Предложен способ определения компонент вектора постоянной намагниченности буровых труб, создающих магнитную девиацию в показаниях инклинометра. Способ основывается на измерении сигналов магниточувствительных датчиков инклинометра при повороте всей колонны труб с инклинометром в диапазоне $0 \div 2\pi$ с последующей математической обработкой полученных результатов.

Запропонован спосіб визначення компонент вектора постійної намагніченості бурових труб, що створюють магнітну девіацію в свідченнях інклінометра. Спосіб ґрунтується на вимірі сигналів магніточутливих датчиків інклінометра при повороті всієї колони труб з інклінометром в діапазоні $0 \div 2\pi$ з подальшою математичною обробкою отриманих результатів.

The method of determination of komponent of vector of permanent magnetized of borings pipes, creating magnetic deviaciyu in the testimonies of inclinometer is offered. A method is based on measuring of signals of magnitochuvstvitel'nykh sensors of inclinometer at the turn of all column of pipes with an inclinometer in a range $0 \div 2\pi$ with subsequent mathematical treatment of the got results.

Вступление. В настоящее время большое внимание уделяется наклонно - направленному бурению, что связано с увеличением объемов строительства горизонтальных и наклонных скважин. Кроме того, увеличивается глубина разведочного бурения на нефть и газ. Проводка таких скважин требует повышения точности получения информации о положении бурового инструмента на забое скважины и определения траектории бурения в целом.

Анализ публикаций. Известно, что для определения положения бурового инструмента и траектории скважины применяют инклинометрические измерительные устройства в состав которых входят различные первичные преобразователи, такие как гироскопы, акселерометры, феррозонды и др.[1]. Следует отметить, что из-за характерных условий бурения не все они могут выдавать необходимую информацию с достаточной точностью. Например, применение в инклинометрических телесистемах гироскопов, из-за влияния вибрации бурового инструмента на их показания, не дает возможности получать достоверную информацию о траектории бурения скважин при непрерывном процессе бурения. Кроме того, стоимость их достаточно велика. То есть, измерительные телесистемы, разработанные на основе гироскопов являются дорогостоящими и недостаточно точными и их использование может привести к значительным финансовым затратам при бурении скважин.

Цель работы. Изучить возможность получения достоверной информации о положении бурового снаряда в пространстве, устранив погрешность показаний гироскопов путем использования вместо них магниточувствительных датчиков. Исследовать влияние на их показания магнитной девиации и скомпенсировать получаемую ошибку выходных значений, которая присуща такого типа датчикам, что значительно повысит точность измерения азимутального угла.

Изложение основного материала исследования. Учитывая выше сказанное, ниже в качестве датчика азимута рассмотрено использование магниточувствительных преобразователей. Как известно, магниточувствительные преобразователи менее чувствительны к вибрации [2], однако имеют свойство реагировать на все намагниченные предметы и, следовательно, без дополнительной коррекции их использовать в условиях разведочного бурения нецелесообразно. В связи с этим предлагается использовать алгоритмические методы компенсации и определить коэффициенты магнитной девиации.

Вначале бурения, при вертикальном расположении в скважине снаряженного бурового инструмента, включающего инклинометрическую телесистему, можно определить вектор постоянной магнитной помехи, создаваемой намагниченностью буровых труб. В этом случае скважина и буровая вышка являются своего рода поворотным столом, позволяющим задавать и контролировать углы поворота всей колонны труб. Таким образом, можно вычислить проекции постоянного вектора намагниченности на оси системы координат, связанной с колонной буровых труб в условиях наиболее приближенных к реальной эксплуатации. Это позволит в дальнейшем учитывать намагниченность колонны труб при вычислении магнитного азимута при любых зенитных углах наклона скважины. Учет влияния только лишь постоянной магнитной помехи от намагниченности буровых труб на показания инклинометра, позволяет снизить ошибку в измерении азимута до единицы градуса. Это соответствует требуемой в настоящее время точности в определении азимута скважины в процессе бурения.

Пусть напряженность магнитного поля Земли \vec{T} в системе координат $O\xi\eta\zeta$, связанной с Землей имеет вид: $\vec{T}(H,O,Z)$, рис.1. Пусть в системе координат $OXYZ$, связанной с буровым инструментом и инклинометром, вектор постоянной магнитной помехи от намагниченности труб имеет проекции $\vec{T}_1(T_\xi, T_\eta, T_\zeta)$. Тогда суммарный вектор напряженности \vec{T}'' магнитного поля, измеряемого инклинометром, складывается из:

$$\vec{T}'' = \vec{T} + \vec{T}_1 . \quad (1)$$

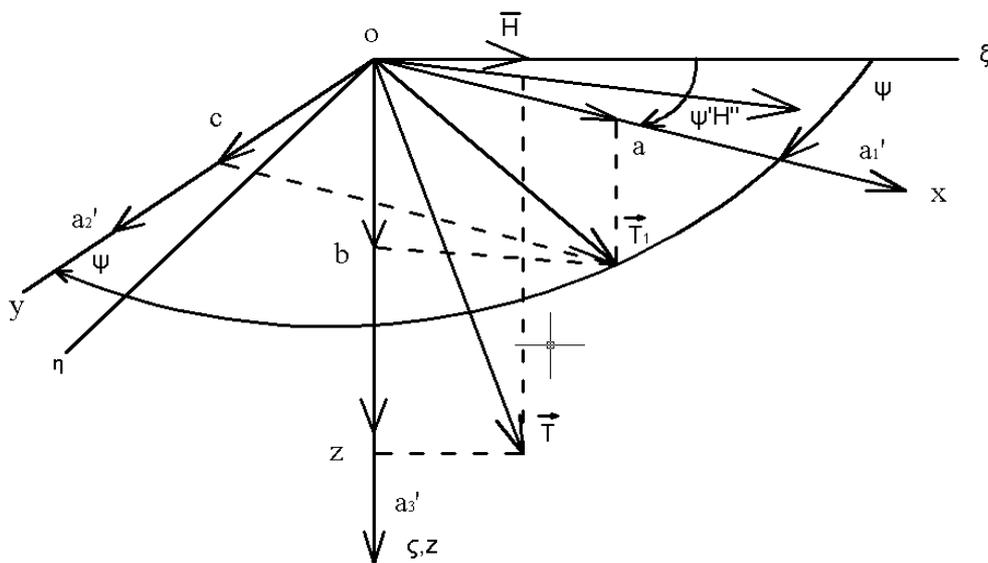


Рис. 1. Положение осей чувствительности магнитометра

На рис.1 обозначено \vec{H} - горизонтальная составляющая магнитного поля земли, \vec{H}' - горизонтальная составляющая магнитного поля помехи T_1 , \vec{H}'' - горизонтальная составляющая суммарного магнитного поля \vec{T}'' .

Если инклинометр не имеет инструментальных ошибок, то магнитометры его a_i измеряют проекции магнитного поля Земли на оси чувствительности последних в виде:

$$\begin{aligned} a_1 &= H \cos \psi, \\ a_2 &= -H \sin \psi \\ a_3 &= b \end{aligned} \quad (2)$$

Так что при отсутствии магнитной помехи магнитный угол положения отклонителя ψ , вычисляемый по формуле $\alpha = \arctg(-\frac{a_2}{a_1})$, является истинным.

При действии же магнитной помехи $\vec{T}_1(A, B, C)$ угол положения отклонителя $\psi' = \arctg(-\frac{a_2'}{a_1'})$ включает ошибки измерения или девиацию, равную $\delta = \psi - \psi'$.

Сигналы, снимаемые с магнитометров и инклинометров a_i' , имеют вид:

$$\begin{aligned} a_1 &= A + H \cos \psi, \\ a_2 &= B - H \sin \psi \\ a_3 &= c + b \end{aligned} \quad (3)$$

Девиация δ согласно рис. 1 равна:

$$\cos \delta = \frac{a_1'(a_1' - A) + a_2'(a_2' - B)}{\sqrt{a_1'^2 + a_2'^2}}; \quad (4)$$

Так как истинный магнитный угол положения отклонителя связан с углом, выдаваемым инклинометром ψ по формуле:

$$\psi = \psi' + (\psi'); \quad (5)$$

то обозначив:

$$\begin{aligned} a_1(\psi) &= a_1'(\psi' + \delta(\psi')) = \check{a}_1(\psi'), \\ a_2(\psi) &= a_2'(\psi' + \delta(\psi')) = \check{a}_2(\psi'), \\ a_3(\psi) &= a_3'(\psi' + \delta(\psi')) = \check{a}_3(\psi') \end{aligned} \quad (6)$$

можно записать в таком виде:

$$\begin{aligned} (\cos \psi' \cos \delta + \sin \psi' \sin \delta) + A &= \check{a}_1(\psi'), \\ -(\sin \psi' \cos \delta + \cos \psi' \sin \delta) + B &= \check{a}_2(\psi'), \\ C + b &= \check{a}_3(\psi'), \end{aligned} \quad (7)$$

$$\cos \delta = \frac{\check{a}_1^2(\psi') + \check{a}_2^2(\psi') - A\check{a}_1(\psi') - B\check{a}_2(\psi')}{\sqrt{\check{a}_1^2(\psi') + \check{a}_2^2(\psi')}}; \quad (8)$$

Величины \tilde{a}_1, \tilde{a}_2 могут быть определены при вращении всей колонны труб в диапазоне 0-360°С через фиксированный угол поворота. При этом $\tilde{a}_3 \equiv const$ и компонента С постоянного вектора намагниченности определяется из выражения:

$$C = \tilde{a}_3(\psi') - b. \quad (9)$$

Из первых двух уравнений системы следуют искомые выражения девиации:

$$\begin{aligned} \cos \delta &= (\tilde{a}_1(\psi') - A) \cos \psi' + (B - \tilde{a}_2(\psi')) \sin \psi', \\ \sin \delta &= (B - \tilde{a}_2(\psi')) \cos \psi' - (\tilde{a}_1(\psi') - A) \sin \psi'. \end{aligned} \quad (10)$$

Последнее уравнение системы (7) совпадает с первым уравнением (10), так как

$$\cos \psi' = \frac{\tilde{a}_1(\psi')}{\sqrt{\tilde{a}_1^2(\psi') + \tilde{a}_2^2(\psi')}}, \quad (11)$$

$$\sin \psi' = -\frac{\tilde{a}_2(\psi')}{\sqrt{\tilde{a}_1^2(\psi') + \tilde{a}_2^2(\psi')}} \quad (12)$$

Таким образом модуль вектора магнитной помехи $|\vec{T}_1|$

$|\vec{T}_1| = \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}$ и девиация $\delta(\psi')$ определяется из уравнения

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{(B - \tilde{a}_2) \cos \psi' - (\tilde{a}_1 - A) \sin \psi'}{(\tilde{a}_1 - A) \cos \psi' + (B - \tilde{a}_2) \sin \psi'}. \quad (13)$$

Для получения компонент поля \vec{T}_1 , А и В воспользуемся уравнением:

$$\cos^2 \delta + \sin^2 \delta = 1 \quad (14)$$

или

$$\tilde{a}_1(\psi') + \tilde{a}_2(\psi') + A^2 + B^2 - 2A\tilde{a}_1(\psi') - 2B\tilde{a}_2(\psi') = 1 \quad (15)$$

Так как функция $\tilde{a}_1(\psi'), \tilde{a}_2(\psi')$ - периодические с периодом 2π , то их можно разложить в ряд Фурье.

$$\tilde{a}_1(\psi') = \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (\alpha_n \cos n\psi' + \beta_n \sin n\psi'), \quad (16)$$

$$\tilde{a}_2(\psi') = \frac{\gamma_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (\gamma_n \cos n\psi' + \delta_n \sin n\psi'), \quad (17)$$

аналогично:

$$\tilde{a}_1^2(\psi') + \tilde{a}_2^2(\psi') = \frac{\lambda_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (\lambda_n \cos n\psi' + \mu_n \sin n\psi'), \quad (18)$$

где

$$\alpha_n = \frac{1}{\pi} \int_{\psi'_0}^{\psi'_0+2\pi} \tilde{a}_1(\psi') \cos n\psi' d\psi', \quad n=0,1,2,\dots, \quad (19)$$

$$\beta_n = \frac{1}{\pi} \int_{\psi'_0}^{\psi'_0+2\pi} \tilde{a}_1(\psi') \sin n\psi' d\psi' \quad n=0,1,2,\dots, \quad (20)$$

$$\gamma_n = \frac{1}{\pi} \int_{\psi'_0}^{\psi'_0+2\pi} \tilde{a}_2(\psi') \cos n\psi' d\psi', \quad n=0,1,2,\dots, \quad (21)$$

$$\delta_n = \frac{1}{\pi} \int_{\psi'_0}^{\psi'_0+2\pi} \tilde{a}_1(\psi') \sin n\psi' d\psi', \quad n=0,1,2,\dots, \quad (22)$$

$$\lambda_n = \frac{1}{\pi} \int_{\psi'_0}^{\psi'_0+2\pi} [\tilde{a}_2^2(\psi') + \tilde{a}_2^2(\psi')] \cos n\psi' d\psi', \quad n=0,1,2,\dots, \quad (23)$$

$$\mu_n = \frac{1}{\pi} \int_{\psi'_0}^{\psi'_0+2\pi} [\tilde{a}_1^2(\psi') + \tilde{a}_2^2(\psi')] \sin n\psi' d\psi', \quad n=0,1,2,\dots, \quad (24)$$

Здесь ψ'_0 - начальный угол отклонителя, при $\psi'_0 \neq 0$.

Подставляя ряды в уравнение (15), получим соотношение следующего вида:

$$\begin{aligned} \lambda_0 + A^2 + B^2 - 2A\alpha_0 - 2B\gamma_0 &= 1, \\ \lambda_n - 2A\alpha_n - 2B\gamma_n &= 0, \\ \mu_n - 2A\beta_n - 2B\delta_n &= 0, n=1,2,\dots \end{aligned} \quad (25)$$

Если для некоторого n $\alpha_n\delta_n - \beta_n\gamma_n \neq 0$, то из уравнений (37) находим искомые компоненты А, В постоянного магнитного поля \bar{T}_1 помехи:

$$A = \frac{1}{2} \frac{\lambda_n\delta_n - \mu_n\gamma_n}{\alpha_n\delta_n - \beta_n\gamma_n}, \quad (26)$$

$$B = \frac{1}{2} \frac{\alpha_n\mu_n - \lambda_n\beta_n}{\alpha_n\delta_n - \beta_n\gamma_n}, \quad (27)$$

Таким образом, компоненты постоянного магнитного поля помехи А,В,С вполне определены из выражений, а девиация $\delta = \delta(\psi')$ тогда вычисляется согласно выражений.

При вертикальном расположении инклинометрической системы в скважине разворачиваем последнюю вокруг продольной оси (ось скважины) на фиксированные углы поворота $\psi'_0, \psi'_1, \dots, \psi'_m$, где $\psi'_0 < \psi'_1 \dots \psi'_m, \psi'_m = \psi'_0 + 2\pi$, одновременно измеряя посредством магнитометрических датчиков инклинометра эти величины $\tilde{a}_1(\psi'_i), \tilde{a}_2(\psi'_i)$, и вычисляя $\tilde{a}_1(\psi'_i) + \tilde{a}_2(\psi'_i)$, $i=0,1,2,\dots,m$

Интервал измерения $0 \div 2\pi$ при развороте в скважине инклинометра в составе колонны труб не может быть разделен на одинаковые части «m» из-за моментов сухого трения о стенки. Поэтому, для приближенного вычисления интегралов, согласно полученным выражениям, запишем пользуясь методом трапеции искомое выражение с учетом неравных частей.

$$\alpha_n = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^{m-1} [\tilde{a}_1(\psi'_{i+1}) \cos n\psi'_{i+1} + \tilde{a}_1(\psi'_i) \cos n\psi'_i] \Delta\psi'_i, \quad (28)$$

$$\beta_n = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^{m-1} [\tilde{a}_1(\psi'_{i+1}) \sin n\psi'_{i+1} + \tilde{a}_1(\psi'_i) \sin n\psi'_i] \Delta\psi'_i, \quad (29)$$

$$\gamma_n = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^{m-1} [\tilde{a}_2(\psi'_{i+1}) \cos n\psi'_{i+1} + \tilde{a}_2(\psi'_i) \cos n\psi'_i] \Delta\psi'_i, \quad (30)$$

$$\delta_n = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^{m-1} [\tilde{a}_2(\psi'_{i+1}) \sin n\psi'_{i+1} + \tilde{a}_2(\psi'_i) \sin n\psi'_i] \Delta\psi'_i, \quad (31)$$

$$\lambda_n = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^{m-1} [|\tilde{H}(\psi'_{i+1})|^2 \cos n\psi'_{i+1} + |\tilde{H}(\psi'_i)|^2 \cos n\psi'_i] \Delta\psi'_i, \quad (32)$$

$$\mu_n = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^{m-1} [|\tilde{H}(\psi'_{i+1})|^2 \sin n\psi'_{i+1} + |\tilde{H}(\psi'_i)|^2 \sin n\psi'_i] \Delta\psi'_i, \quad (33)$$

где $\Delta\psi'_i = \psi'_{i+1} - \psi'_i$, $|\tilde{H}(\psi'_i)|^2 = \tilde{a}_1^2(\psi'_i) + \tilde{a}_2^2(\psi'_i)$, $i=0,1,2,\dots, m-1$

и тогда согласно выражениям (26), (27) находим компоненты вектора \vec{T} :

$$A = \frac{1}{2} \frac{\lambda_n \delta_n - \mu_n \gamma_n}{\alpha_n \delta_n - \beta_n \gamma_n}, \quad (34)$$

$$B = \frac{1}{2} \frac{\lambda_n \mu_n - \lambda_n \gamma_n}{\alpha_n \delta_n - \beta_n \gamma_n} \quad (35)$$

Пусть известны из эксперимента, полученного при повороте в скважине инклинометра в диапазоне $0 \div 2\pi$, сигналы, снимаемые с магнитометров $\tilde{a}_1(\psi'_i), \tilde{a}_2(\psi'_i)$, $i=1,2,3$.

Тогда, согласно формуле (33), имеем:

$$A\tilde{a}'_1(\psi'_i) + B\tilde{a}'_2(\psi'_i) = \frac{1}{2} [\tilde{a}_1^2(\psi'_i) + \tilde{a}_2^2(\psi'_i) + A^2 + B^2 - 1], \quad i=1,2,3. \quad (36)$$

Откуда получаем, например систему уравнений следующего вида:

$$A[\tilde{a}'_1(\psi'_2) - \tilde{a}'_1(\psi'_1)] + B[\tilde{a}'_2(\psi'_3) - \tilde{a}'_2(\psi'_1)] = \frac{1}{2} [|\tilde{H}'(\psi'_3)|^2 - |\tilde{H}'(\psi'_1)|^2] \quad (37)$$

$$A[\tilde{a}'_1(\psi'_3) - \tilde{a}'_1(\psi'_1)] + B[\tilde{a}'_2(\psi'_3) - \tilde{a}'_2(\psi'_1)] = \frac{1}{2} [|\tilde{H}'(\psi'_3)|^2 - |\tilde{H}'(\psi'_1)|^2]$$

Если определитель системы $\Delta \neq 0$

$$\Delta = \begin{vmatrix} \tilde{a}'_1(\psi'_2) - \tilde{a}'_1(\psi'_1) & \tilde{a}'_2(\psi'_2) - \tilde{a}'_2(\psi'_1) \\ \tilde{a}'_1(\psi'_3) - \tilde{a}'_1(\psi'_1) & \tilde{a}'_2(\psi'_3) - \tilde{a}'_2(\psi'_1) \end{vmatrix} \neq 0 \quad (38)$$

то полагая

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} \frac{1}{2} [|\tilde{H}'(\psi'_2)|^2 - |\tilde{H}'(\psi'_1)|^2] & \tilde{a}'_2(\psi'_2) - \tilde{a}'_2(\psi'_1) \\ \frac{1}{2} [|\tilde{H}'(\psi'_3)|^2 - |\tilde{H}'(\psi'_1)|^2] & \tilde{a}'_2(\psi'_3) - \tilde{a}'_2(\psi'_1) \end{vmatrix}, \quad (39)$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} \tilde{a}'_1(\psi'_2) - \tilde{a}'_1(\psi'_1) & \frac{1}{2} [|\tilde{H}'(\psi'_2)|^2 - |\tilde{H}'(\psi'_1)|^2] \\ \tilde{a}'_1(\psi'_3) - \tilde{a}'_1(\psi'_1) & \frac{1}{2} [|\tilde{H}'(\psi'_3)|^2 - |\tilde{H}'(\psi'_1)|^2] \end{vmatrix} \quad (40)$$

Найдем искомые компоненты вектора \vec{T} постоянной магнитной помехи:

$$A = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad B = \frac{\Delta_2}{\Delta}. \quad (41)$$

Выводы:

1. Предложен способ определения компонент вектора постоянной намагниченности буровых труб, создающих магнитную девиацию в показаниях инклинометра. Способ основывается на измерении сигналов магниточувстви-

тельных датчиков инклинометра при повороте всей колонны труб с инклинометром в диапазоне $0 \div 2\pi$ с последующей математической обработкой полученных результатов.

2. Предложены математические зависимости, позволяющие вычислить магнитную девиацию при разных значениях угла установки отклонителя с последующим ее устранением в показаниях инклинометра.

Список литературы

1. Аглиуллин Ю.Ф. «Автоматическая система ориентации бурового инструмента» / Аглиуллин Ю.Ф., Нугаев И.Ф. Электроника, автоматика и измерительная техника: межвузовский сборник научных трудов с международным участием. –Уфа: УГАТУ, 2011. - 331 с.
2. Ковшов Г.Н. «Инклинометры» (Основы теории и проектирования). / Ковшов Г.Н. Алимбеков Р. И., Жибер А.В. - УФА: Гилем, 1998. – 380 с.
3. Ковшов Г.Н., «Приборы контроля пространственной ориентации скважин при бурении» / + Ковшов Г.Н., Коловенртнов Г. Ю - УФА 2001 - 228 с.
4. Ковшов Г.Н., М.И. Хакимьянов, А.Ф. Сакаев «Датчик угла наклона на основе интегрального акселерометра: реализация и исследование характеристик».

*Рекомендовано до публікації д.т.н Кожевниковим А.О.
Надійшла до редакції 21.11.13*

УДК 551.311.231:551.243

© А.Д. Додатко, К.О. Змиевская

ОСОБЕННОСТИ ЛИНЕЙНЫХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ И ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ ВЫСОКИХ ПОРЯДКОВ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕРГЕЕВСКОЕ СОЛОНЯНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

В работе приведены результаты выделения и трассирования линейных кор выветривания и разрывных нарушений высоких порядков по данным наблюдения естественного импульсного электромагнитного поля Земли. Рассмотрены их геологические характеристики на Сергеевском месторождении Солонянского рудного поля.

У роботі приведені результати виділення і трасування лінійних кір вивітрювання і розривних порушень високих порядків за даними спостереження природного імпульсного електромагнітного поля Землі. Розглянуті їх геологічні характеристики на Сергієвському родовищі Солонянського рудного поля.

The results of selection and tracing of linear weathering crust and faults of high orders are in-process resulted from data of supervision of the natural impulsive electromagnetic field of Earth and discusses their geological characteristics are considered on the Sergeevskoe deposit of Solonyanskogo ore field.

Вступление. С линейными корами выветриваниями и разрывными нарушениями высоких порядков тесно связано образование ряда полезных ископаемых: золота, платины, касситерита, титаномагнетита, циркона, монацита и драгоценных камней.