

УДК 551:550.382.3

К.М. Константинов, М.Ю. Подмогов, Е.И. Зайцева

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОБЛЕМ ПАЛЕОМАГНЕТИЗМА
НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ
ГОРНЫХ ПОРОД**

Семинар №2

Палеомагнитология - раздел наук о Земле, изучающий историю геомагнитного поля геологического прошлого. Это самостоятельная научная дисциплина, имеющая свою методику исследований, объекты изучения, область приложения результатов. В настоящее время широко известны результаты применения палеомагнитных данных при решении задач глобальной тектоники, геодинамики, теории магнитного поля Земли, строения ядра планеты, стратиграфии, возрастной корреляции геологических образований, археологии и др. Наряду с уже признанными палеомагнитно-стратиграфическим, палеомагнитно-геодинамическим и др. направлениями в последнее время увеличивается количество работ, ориентированных на решение металлогенических задач и можно уверенно говорить о зарождении палеомагнитно - металлогенического направления научных исследований. Палеомагнитное обоснование возраста кимберлитов и траппов - одна из типичных задач этого направления.

Для палеомагнитного обоснования возраста кимберлитов требуется решить две основные задачи: получить палеомагнитное направление и палеомагнитный полюс, отвечающий времени формирования кимберлитов; путем сопоставления полученного палеомагнитного полюса с данными по датированным геологическим образованиям определить возраст первичной естественной остаточной намагниченности, т. е. получить палеомагнитную дату.

Кимберлиты, как любые магматические породы в процессе охлаждения от темпера-

тур, превышающих точки Кюри магнитных минералов могут приобретать устойчивую во времени термоостаточную или химическую намагниченность и сохранять ее в благоприятных условиях, по крайней мере, частично, до настоящего времени. Вполне понятно, что "отпечатки" древнего магнитного поля, подобно фауне или флоре, сохраняются далеко не всегда. Известно, в частности, что кимберлиты являются сложными объектами палеомагнитного изучения и по ним нельзя априори гарантировать получение положительного результата. В то же время среди кимберлитов были обнаружены разновидности, несущие признаки хорошо сохранившейся, а в редких исключениях, доминирующей первичной естественной остаточной намагниченности.

Интерпретация палеомагнитных данных базируются на трех известных постулатах:

1. *Гипотеза центрального осевого диполя.* Геомагнитное поле, осредненное за лю-

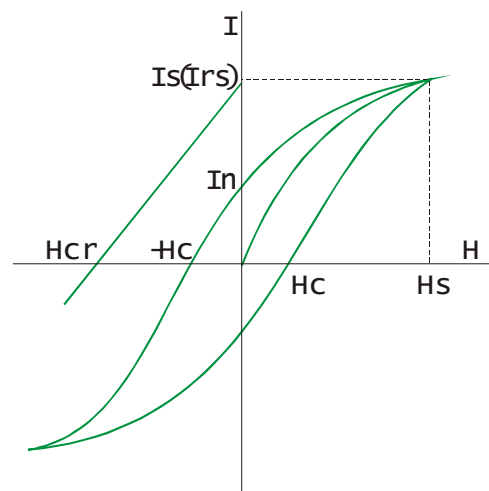


Рис. 1. Основные гистерезисные характеристики ферромагнитного вещества

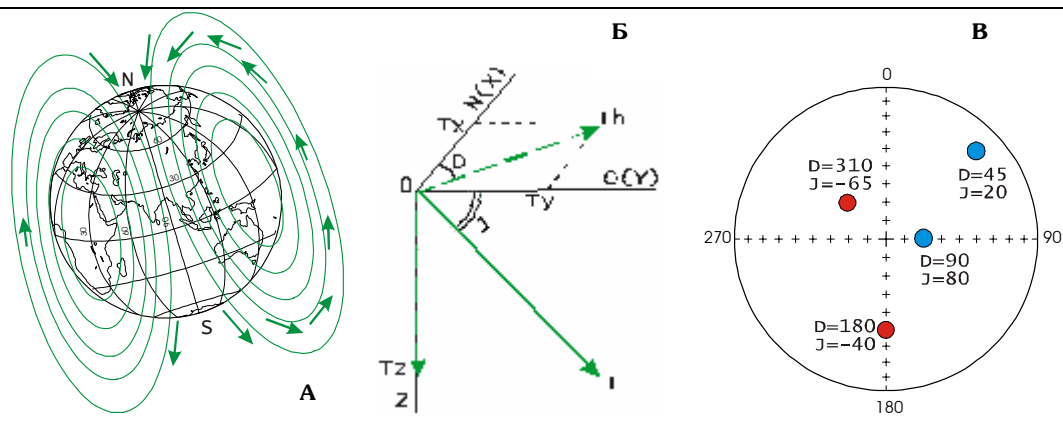


Рис. 2. Иллюстрация основных принципов палеомагнетизма «гипотеза центрального осевого диполя» (А) и «гипотеза фиксации» (Б), а так же способ изображения векторов намагниченности (В)

бые промежутки времени порядка 100 тыс. лет (кроме эпох инверсий), является полем диполя, помещенного в центр Земли и ориентированного по ее оси вращения.

2. *Гипотеза фиксации.* Предполагается, что горные породы при своем становлении намагничиваются по направлению геомагнитного поля времени и места их образования.

3. *Гипотеза сохранения.* Приобретенная первичная намагниченность сохраняется (хотя бы частично) до настоящего времени и принципиально может быть выделена из суммарной многокомпонентной естественной остаточной намагниченности породы.

2. Естественная остаточная намагниченность

Естественная остаточная намагниченность (ЕОН) I_n – намагниченность, которую имеет ферромагнитное вещество в отсутствие магнитного поля (рис. 1). Измеряется в А/м (СИ). Она является важной петрофизической характеристикой, так как зависит от состава ферромагнитных минералов и характера предыдущих воздействий на него магнитного поля Земли (направление и напряженность T). Таким образом, зная предысторию ЕОН в итоге можно определить место и время образования горных пород (рис. 2 а, б).

ЕОН характеризуется: по природе – ориентационная, термоостаточная, химическая и др.; по возрасту – древняя (первич-

ная), метакронная (вторичная), современная; по отношению к тектоническим событиям – до-, син- либо постскладчатая. Для определения ЕОН существует комплекс геологических, статистических и физических критериев или тестов. Первые два комплекса рассматриваются на этапе интерпретации данных, а в основе последнего лежат экспериментальные исследования образцов.

Направления векторов ЕОН меняются по склонению $0 < D < 360^\circ$ и наклонению $-90 < J < 90^\circ$. Их принято наносить на стереограммы (рис. 2 в).

В зависимости от решения геологических задач и этапа петрофизических исследований измерению могут подлежать как не ориентированные, так и ориентированные образцы, по форме близкой к правильной. В последнем случае можно рассчитать суммарную намагниченность (I), являющуюся векторной суммой индуктивной намагниченности (I_i) и ЕОН (I_n). Согласно методике

Рис. 3. Рок-генератор JR-5a



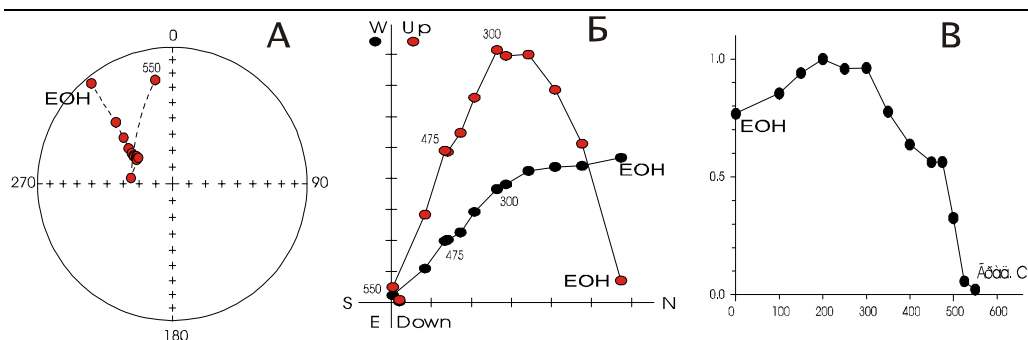


Рис. 4. Пример пошагового эксперимента размагничивания траппов (р. Марха) температурой: А – стереограмма, Б – диаграмма Зийдervельда, В – график зависимости ЕОН от температуры

для определения ЕОН необходимо провести 6, 12 или 22 измерения по трем взаимно перпендикулярным осям X, Y и Z. Для измерения ЕОН в лаборатории имеются аstaticкий магнитометр (M14), рок-генераторы (JR-5a).

3. Исследования компонентного состава ЕОН

Исследования компонентного состава ЕОН основаны на «гипотезе сохранения» горными породами ЕОН в течение продолжительного времени, которая может быть выделена по результатам экспериментов. Гипотеза предполагает, что ЕОН (In^0), сингенетичной горной породе, может содержать ряд остаточных намагниченностей, приобретенных горными породами и рудами, за время своего существования, например, метакронной (In^m), вязкой (In^v) и т. д. Таким образом, $In = In^0 + In^m + In^v + \dots + In^N$.

Считается, что In^0 является самой магнитожесткой (высококоэрцитивной и высокотемпературной) компонентой по отношению к другим ее видам и по этой причине может быть выделена по результатам размагничиваний переменным магнитным полем или температурой на конечной стадии экспериментов (рис. 4). Доказательство природы той или иной компоненты можно проводить специальными тестами: физическими (на стадии лабораторных экспериментов в комплексе с геологическими и статистическими (на стадии интерпретации).

Компоненты ЕОН характеризуют на-

правление магнитного поля Земли разных геологических эпох и поэтому являются основой палеомагнитных исследований при решении задач геодинамики, стратиграфии и металлогении. По этой причине представленные на анализ образцы должны быть ориентированными в пространстве. Количество образцов зависит от поставленной геологической задачи.

4. Размагничивание переменным магнитным полем

Основано на эффекте магнитного гистерезиса – уменьшение значения ЕОН, оставшейся в ферромагнитном теле после устранения внешнего размагничивающего поля.

Внешнее переменное магнитное поле с убывающей амплитудой H вызывает знакопеременное намагничивание ферромагнетика с постепенно убывающей амплитудой I (рис. 5) и приводит к полному размагничиванию, если начальное значение H становится больше коэрцитивной силы H_c .

Процедура эксперимента предусматривает две операции:

1) Измерения In образца на рок-генераторах JR-5. Измерений всегда больше

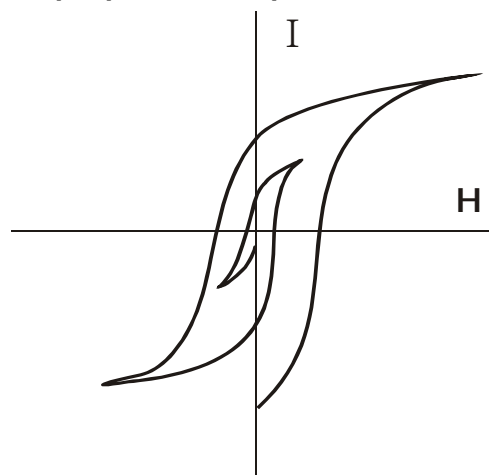


Рис. 5. Принципиальная схема эффекта размагничивания переменным магнитным полем



на один, чем размагничивающих шагов, так как перед началом эксперимента проводится определение исходного вектора ЕОН.

2) Пошаговое размагничивание образца заданным переменным полем H , которое создается соленоидом. Вся система помещена внутри пермалловых экранов. Образец вращается с помощью специального устройства в центре соленоида таким образом, что одновременно размагничивается по двум из трех составляющих его граней (направлений). Для компенсации магнитного поля Земли, создания переменного магнитного поля разной амплитуды и плавного его изменения (нарастание и убывание) существует специально разработанная установка VSM-2 (рис. 6).

Эксперимент, как правило, включает 10 шагов при 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500 и 600 Э и, соответственно, 11 измерений.

5. Размагничивание температурой

Основано на эффекте потери ферромагнитных свойств веществ в результате теплового движения атомов при воздействии температурой выше точки Кюри в отсутствие внешнего магнитного поля. Процедура эксперимента предусматривает три операции:

1) измерения I_n образца на рок-генераторах JR-5а. Измерений всегда больше на один, чем размагничивающих шагов, так как перед началом эксперимента проводится определение исходного вектора ЕОН.

2) Пошаговое размагничивание образца заданной температурой, которое создается спиралью не индуктивно намотанной на

Рис. 7. Установка по размагничиванию температурой MMTD80

Рис. 6. Установка по размагничиванию переменным магнитным полем AF-Demagnetizer

немагнитном керамическом основании. Вся система помещена внутри пермалловых экранов. Для осуществления процесса регулировки температуры и охлаждения существует (рис. 7) специально разработанная установка для температурного размагничивания MMTD80 (Magnetic Measurements LTD, Великобритания). Остаточное поле внутри печи обычно составляет менее 10 нТл.

3) Контроль за возможными минералогическими изменениями образца, возникающими при воздействии температурой, осуществляется с через измерения j , после каждого шага. Их ровно столько же сколько и измерений ЕОН.

Эксперимент, как правило, включает не менее 14 шагов при 75 (100), 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 475, 500, 525, 550, 575 и 600⁰С и, соответственно, по 15 измерений ЕОН и j .

6. Палеомагнетизм кимберлитов трубки Юбилейная.

По характеру и интенсивности намагниченности трубка Юбилейная является типичной для сложно построенных (многофазных) кимберлитовых тел Алаakit-Мархинского района. В ней выделяются сильно магнитные блоки (столбы) и локализуются участки с относительно невысокой намагниченности кимберлита. Наиболее однородно и интенсивно намагниченными являются порфировые кимберлиты и их эруптивные брекчии восточного и западного рудных столбов. Магнитная восприимчивость этих пород в основной массе замеренных образцов варьирует в пределах $1000-3000 \times 10^{-6}$ СГС. Лишь в эндоконтактных зонах рудных столбов восприимчивость снижается до



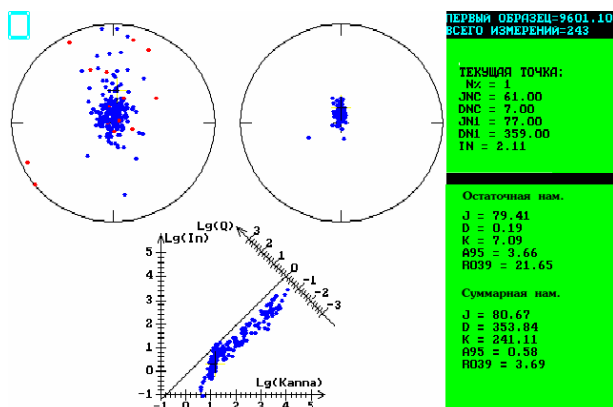


Рис. 8 Распределение магнитных параметров кимберлитов трубки "Юбилейная"

первых сотен. По восточному рудному столбу наблюдается явная тенденция уменьшения восприимчивости с глубиной. Если не считать выветрелых порфировых кимберлитов кратерной зоны выше горизонта 420 м, такая же тенденция обнаруживается и в западном рудном столбе: ниже горизонта 320 м магнитная восприимчивость кимберлита заметно понижается.

Кимберлиты центрального рудного столба наиболее неоднородны по магнитным свойствам. Самая верхняя его часть выполнена сильно выветрелыми туфами и туфобрекчиями с магнитной восприимчивостью всего лишь $80-100 \times 10^{-6}$ СГС. Зале-

гающие ниже породы кратерной части трубки имеют более высокие значения восприимчивости: $700-1000 \times 10^{-6}$ СГС. В зоне подводящего канала трубки на уровне горизонта 350 м и глубже восприимчивость автолитовых брекчий еще дополнительно увеличивается, приближаясь к таковой в порфировых кимберлитах восточного и западного рудных столбов. Возрастание восприимчивости происходит за счет появления в разрезах скважин автолитовых брекчий кимберлитов, на фоне туфобрекчий с относительно высокой концентрацией немагнитного ксеногенного материала. В краевой части (ЦРС) восприимчивость кимберлитовых пород тоже резко понижается.

Естественная остаточная намагниченность восточного и западного рудных столбов по отношению к индуцированной намагниченности исключительно стабильна: фактор Q варьирует в пределах от 0.1 до 0.5, в среднем по совокупностям образцов составляет 0.3 ед. Ориентировка ЕОН ис-

следовалась только по центральному и восточному рудным столбам на ориентированных образцах. Все образцы, за исключением некоторых имеют прямую полярность.

Остаточная намагниченность в кимберлитах центрального столба имеет еще меньшие величины, чем в породах восточного и западного рудных столбов. В среднем по крупным совокупностям образцов фактор Q составляет всего 0.15-

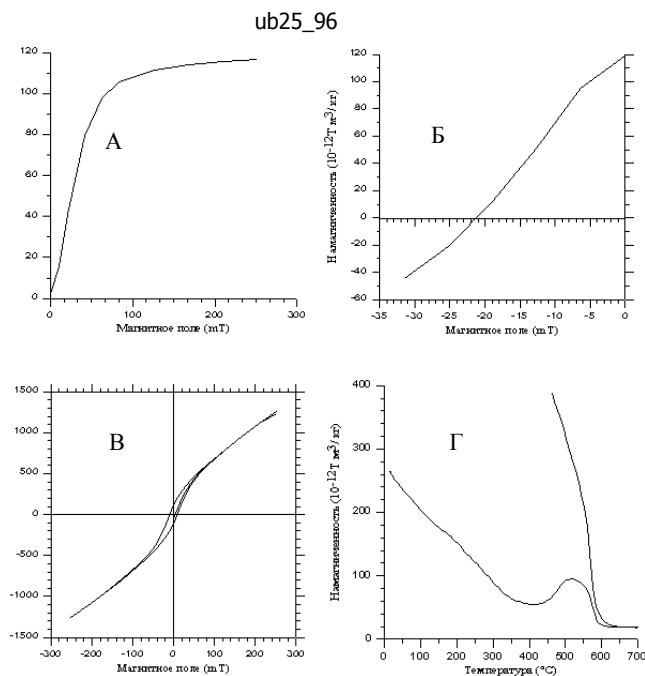
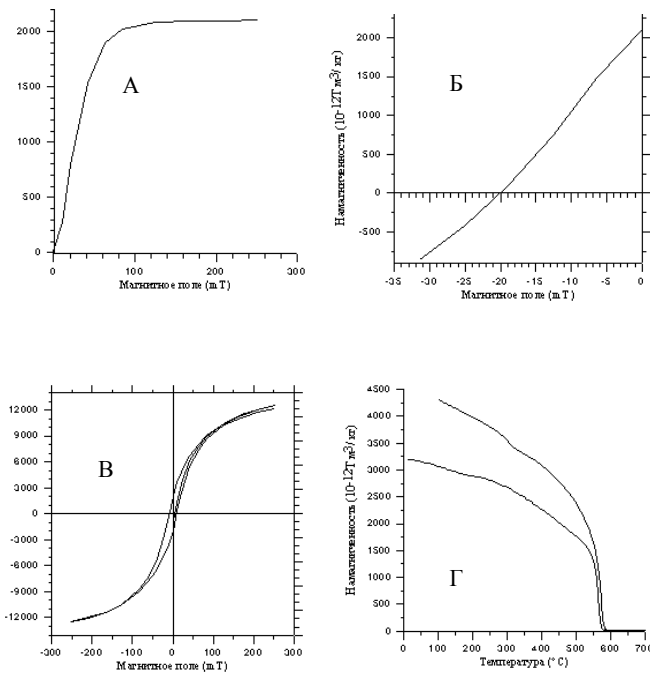


Рис. 9. Результаты магнитно-минералогического анализа кимберлитов трубки "Юбилейная", образец ub25_96: А - график насыщения (намагниченность I_s от величины поля H), Б - график иллюстрирующий величину коэрцитивной силы разрушения, В - петля гистерезиса, Г - иллюстрация эксперимента по определению температур Кюри

ub27_96



0.20 единиц. Несмотря на это, уже раньше (в отчетах Амакинской экспедиции) высказывалось предположение, что преимущ-

венно прямая полярность ЕОН обязана довлеющему влиянию вязкой компоненты ЕОН, наведенной современным геомагнитным полем Земли. Знак первичной намагниченности может быть при этом и прямым и обратным.

Рис. 10. Результаты магнитно-минералогического анализа кимберлитов трубки "Юбилейная", образец ub27_96: А - график насыщения (намагниченность I_s от величины поля H), Б - график иллюстрирующий величину коэрцитивной силы разрушения, В - петля гистерезиса, Г - иллюстрация эксперимента по определению температур Кюри

Всего из трубки Юбилейная было изучено более 500 ориентированных образцов. Как видно из рис. 8 кимберлиты характеризуются не высокими логарифмическими значениями векторов ЕОН $I_n = 12 \times 10^{-3}$ А/м, суммарной намагниченности $I_s = 50 \times 10^{-3}$ А/м (от первых единиц до 10000×10^{-3} А/м), магнитной восприимчивости 80×10^{-5} СИ, фактор $Q = 0.31$.

Средние направления векторов I_s близки к направлению современного поля перемagnetизации ($I = 80^\circ$, $D = 354^\circ$). На стереограммах ЕОН заметно преобладают вектора прямой полярности. Отрицательные вектора I_n так же имеют место быть в коллекции.

В результате магнитоминералогических исследований коллекцию ориентированных образцов можно разделить на два характерных типа носителей намагниченности. К первому типу относятся кимберлиты (обр. ju25_96) практически непригодные к палеомагнитным исследованиям для получения направлений первичной ЕОН

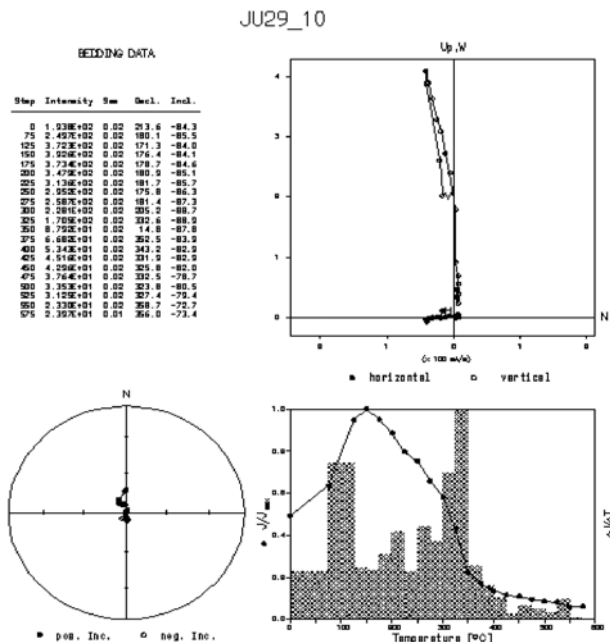
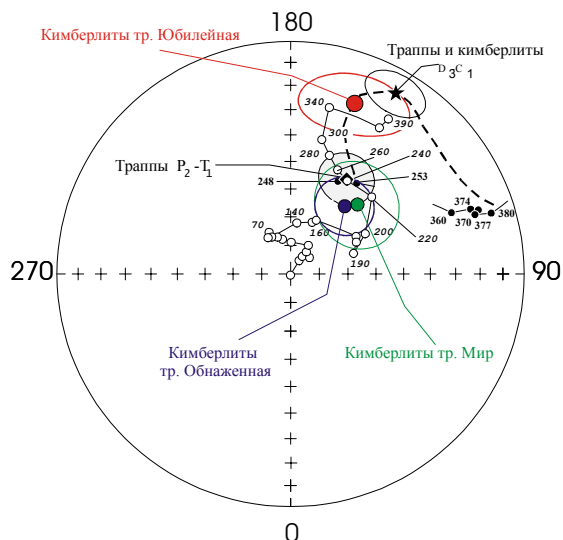


Рис. 11. Иллюстрация результатов терморазмагничивания кимберлитов трубки "Юбилейная", (обр. ju29_10)



(рис. 9). Основной палеомагнитный результат получен по кимберлитам (обр. ju27_96), носителем намагниченности которых является магнетит (рис 10).

На рис. 11 приведен один из результатов лабораторных размагничиваний кимберлитов трубки Юбилейная. В тех образцах, где носителем ЕОН является магнетит, надежно устанавливается характеристическая компонента крутой отрицательной полярности. В обр. ju29_10 характеристическая компонента является магнитостабильной, несмотря на то, что вязкая компонента составляет около 50 % величины ЕОН (рис. 11). Большинство образцов из трубки Юбилейная можно отнести к типу метастабильных, на направления первичной компоненты которых сказалось влияние раннемезозойских долеритов и перемещающее воздействие современного геомагнитного поля. Практически во всех образцах характеристическая компонента первичной природы выделяется, начиная с 200-250 °С.

Рис. 12. Сравнительное положение палеомагнитного полюса высокотемпературной компоненты трубки Юбилейная с базовыми палеомагнитными данными: кружочки - ТКМП Сибирской платформы по (Smethurst и др., 1998), цифры рядом - возраст в млн. лет. Эллипсы - доверительные интервалы для вероятности 95%

Результаты измерений магнитных характеристик отобранных образцов данного месторождения, такие как естественная остаточная намагниченность, магнитная восприимчивость и др. помимо палеомагнитных исследований, служат базой для магнито-минералогических, магнито-структурных, магнито-текстурных и магнито-стратиграфических исследований. С помощью, которых в частности можно вести поиск кимберлитовых тел по эпигенетическим изменениям вмещающих пород. К настоящему времени поисковые работы на алмазы в Якутской алмазоносной провинции сосредоточены, главным образом, в пределах «закрытых» территорий (Далдыно-Алакитский алмазоносный район и др.), где достаточно легко открываемые месторождения установлены, а поиски новых месторождений в силу определенных причин затруднены. В связи с этим, весьма актуален вопрос совершенствования поисковой методики работ на алмазы в пределах «закрытых» территорий. Одним из рациональных путей решения этого вопроса может являться доизучение эпигенетических процессов, характеристик пород околотрубочного пространства, окружающего поисковый объект (кимберлитовое тело). Также эти данные при проведении магнитного каротажа используются для уточнения контуров рудного тела, и запасов полезного ископаемого и решения ряда других технических задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брахфогель Ф.Ф., Зайцев А.И., Шамшина Э.А. Возраст кимберлитов – основа прогнозирования алмазоносности территорий
2. Буров Б.В., Нургалиев Д.К., Ясонов П.Г. Палеомагнитный анализ. Изд-во Казанского университета, 1986, 167 с.
3. Житков А.Н. Изучение палеомагнетизма кимберлитов и вмещающих пород Мало - Ботуобинского алмазоносного района с целью уточнения модели кимберлитовой трубки, как объекта поисков магниторазведкой. (отчет по теме 407 за 1991-1992 гг.). Мирный. Фонды БГРЭ, 1993, 77 с.

Коротко об авторах

Константинов К.М. – Амакинская геологоразведочная экспедиция,
Подмогов М.Ю., Зайцева Е.И. – студенты,
Московский государственный горный университет.