

АППАРАТУРНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СКВАЖИННОЙ МАГНИТОРАЗВЕДКИ ПРИ ПОИСКАХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК

А. А. Аузин

Воронежский государственный университет

Изучение возможностей повышения геологической эффективности скважинной магнитометрии при поисках кимберлитовых тел, выполненное на основе анализа опыта проведения подобных исследований на различных геологических объектах, свидетельствует, что в настоящее время потенциальные возможности скважинной магниторазведки при изучении объектов, перспективных на наличие проявлений кимберлитового магматизма, реализуются далеко не полностью. Рекомендуется включение в комплекс геофизических исследований трехкомпонентной (векторной) скважинной магниторазведки и предлагается относительно простая методическая схема ее практической реализации в вертикальных скважинах. Подобное расширение комплекса при достаточной намагниченности пород слагающих трубки, позволит пространственно локализовывать и определять их основные геометрические параметры даже по результатам исследований в одной единственной скважине.

Несмотря на то, что к настоящему времени открыто достаточно большое количество слабомагнитных алмазоносных кимберлитовых трубок, применение магниторазведки в поисковых целях, как в аэро-, так и в наземном и скважинном вариантах не утратило своей актуальности, поскольку на практике масштабное опосредованное столь обширных и труднодоступных территорий в пределах Якутии и Архангельской области возможно лишь с привлечением аэрогеофизических методов и, прежде всего, — аэромагниторазведки. Выявленные в результате анализа материалов аэромагниторазведки аномалии “трубчатого типа” нуждаются в более точной привязке к местности и детализации путем проведения комплекса наземных исследований (основным из которых опять же является магниторазведка) и последующей заверке бурением. Скважинная магниторазведка (СМ) занимает важное место в комплексе геофизических исследований в скважинах (ГИС) и проводится практически во всех без исключения поисковых и заверочных скважинах, бурящихся в пределах территорий, перспективных на наличие проявлений кимберлитового магматизма. Ее основными целями являются: определение геологической природы наземных магнитных аномалий и опосредованное окоскважинного пространства с целью выявления нескрытых скважинами геологических объектов повышенной намагниченности, прежде всего, — кимберлитовых трубок.

Первые работы, имевшие целью оценку возможностей скважинной магниторазведки по определению природы наземных магнитных аномалий и поискам кимберлитовых тел в Якутской алмазоносной провинции, были выполнены сотрудниками НПО “Рудгеофизика” в 1974 г. Намагниченность пород, слагающих кимберлитовые трубки, относительно невелика и создаваемые ими магнитные аномалии, регистрируемые как в скважинах, так и на поверхности, редко превышают значения в первые сотни нТл, а в большинстве случаев находятся на уровне первых десятков нТл. Так как производившиеся в то время предприятиями геофизического приборостроения скважинные трехкомпонентные феррозондовые комплексные магнитометры, в частности массовый прибор ТСМК-30 (конструкции ВИРГ) или выпускавшийся малыми сериями КСМ-38 (конструкции Института геофизики УНЦ АН СССР, ныне ИГ УрО РАН), обеспечивали измерение вертикальной составляющей магнитного поля с точностью не выше чем $\pm 25-30$ нТл (для горизонтальных составляющих точность была еще меньшей), а геологическая ситуация требовала применения приборов с повышенными точностными характеристиками, то был использован несерийный ΔT -магнитометр чувствительностью 5 нТл, изготовленный на основе феррозондового прибора, специально спроектированного для работы на слабомагнитных объектах [9]. По ряду причин, в том числе и субъективного толка, полученные в то время результаты не позволили

однозначно рекомендовать включение скважинной магниторазведки в комплекс геофизических исследований в заверочных скважинах. Полагающееся ему место в комплексе ГИС метод стал занимать с начала 80-х годов прошлого столетия, чему способствовало, в частности, освоение в середине 80-х годов промышленного производства скважинного протонного магнитометра МСП-2 [2,4], имевшего чувствительность ± 1 нТл. С этого времени для проведения скважинной магниторазведки при поисках кимберлитовых тел стали применяться высокоточные протонные магнитометры, измеряющие модуль полного вектора индукции геомагнитного поля. Отметим, что измерения именно этого параметра в настоящее время практикуются и при проведении наземной магниторазведки.

На практике интерпретируется приращение модуля полного вектора ΔT , представляющее собой разность модуля полного вектора индукции геомагнитного поля и модуля некоторого векторного поля, принимаемого в качестве нормального. При этом, как правило, используются схемы, разработанные для интерпретации аномальных значений вертикальной составляющей вектора индукции. Строго говоря, многие приемы подобной интерпретации (пересчеты поля в верхнее и нижнее полупространства и пр.) имеют свои ограничения, связанные с тем, что выражение для ΔT в общем виде не является гармонической функцией. Однако подобные особенности обычно не принимаются во внимание. Как показали исследования [2, 8], если аномальные поля не слишком велики, то в большинстве случаев такой подход к интерпретации материалов наземных исследований в пределах территории России оказывается вполне приемлемым оправданным.

Вернувшись к проблемам скважинной магниторазведки, обратимся к обширному и, в целом, позитивному опыту применения скважинной магнитометрии для изучения сильномагнитных, преимущественно железорудных объектов. На подобных объектах разведка которых ведется в основном достаточно глубокими наклонными скважинами, практикуется проведение трехкомпонентной скважинной магниторазведки (ТСМ), позволяющей определять пространственное распределение вектора индукции аномального магнитного поля, что существенно расширяет круг решаемых методом задач. При этом обычно ТСМ сопровожда-

ется каротажем магнитной восприимчивости (КМВ), результаты которого используются для расчленения разрезов скважин по величине магнитной восприимчивости и опробования магнетитовых руд.

Важнейшие задачи, которые могут быть решены с помощью трехкомпонентной скважинной магниторазведки, можно сформулировать следующим образом:

1. Определение источников наземных магнитных аномалий, глубин и элементов их залегания, формы и размеров;

2. Детальное опосредованное исследование околоскважинного пространства — определение наличия или отсутствия объектов повышенной магнитной восприимчивости, представляющих геологический интерес. В случае их обнаружения — выяснение пространственного положения этих объектов, их формы, размеров и элементов залегания.

В целом материалы трехкомпонентной (векторной) скважинной магниторазведки обладают гораздо большей потенциальной информативностью, однако здесь мы сознательно ограничились сферой проблем наиболее актуальных для алмазопроисковой геологии, и не коснулись целого ряда достаточно важных, но в данном контексте, имеющих второстепенный практический интерес, вопросов, в частности — возможностей выяснения особенностей намагниченности объектов, изучения параметров магнитных полей как внутри, так и на контактах намагниченных тел с вмещающими породами и пр. В качестве преимуществ ТСМ, имеющих наибольшее прикладное значение, необходимо выделить принципиальную возможность пространственной локализации аномалиеобразующего объекта и определения его геометрических параметров по результатам исследований в *единичной* скважине. По материалам магнитометрии, выполненной в одной скважине прибором измеряющим модуль полного вектора геомагнитного поля, пространственная локализация аномалиеобразующего тела невозможна в принципе. В качестве примера на рис. 1 схематично показано распределение вдоль скважины значений вертикальной составляющей (Z), а также модуля $|T|$ и векторов аномального магнитного поля намагниченного эллипсоида [3]. Характерно, что вблизи верхней и нижней кромок вытянутого по вертикали и намагниченного вдоль длинной оси тела, будут наблюдаться сходящи-

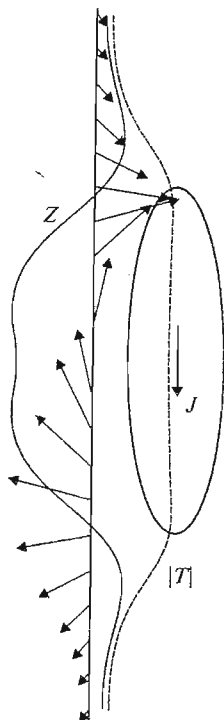


Рис. 1. Кривые Z и $|T|$ и векторы индукции магнитного поля вдоль вертикального профиля наблюдений для вертикально намагниченного эллипсоида

еся и расходящиеся веерообразно векторы аномального магнитного поля. Это свойство обычно используется для пространственной локализации магнитных полюсов намагниченных объектов, которые приурочены к их нижней и верхней кромкам.

Таким образом, скважинные векторные измерения, позволяющие определить пространственную структуру аномального магнитного поля, имеют неоспоримые преимущества перед измерениями его абсолютных значений, практикуемыми в настоящее время. Исходя из этого, значительный практический интерес представляет выяснение принципиальной возможности осуществления трехкомпонентных измерений магнитного поля в заверочных и поисковых скважинах в пределах потенциально алмазоносных территорий.

В скважинной магниторазведке векторные исследования осуществляются путем измерений трех ортогональных компонентов магнитного поля с помощью такого же количества аналогичным образом ориентированных феррозондов или одного вращающегося по конической поверхности феррозонда [2, 7]. Измерения всех трех составляющих вектора магнитного поля одним вращающимся феррозондом реализова-

ны только в скважинном комплексном цифровом магнитометре МСКЦ-1, в остальных отечественных приборах (ТСМК-30, КСМ-38 и пр.), применяющихся до настоящего времени, а также в современных приборах (МИ-3803 и др.), использована система из трех взаимно ортогональных магниточувствительных элементов.

Для реализации возможности определения пространственного положения вектора геомагнитного поля в скважинных приборах используются специальные устройства, позволяющие получать данные об ориентировке измерительной системы магнитометра относительно какого-то определенного направления во время проведения исследований. Принцип работы подобных устройств может быть основан или на принудительной ориентировке измерительной системы, или на пассивном определении ее ориентации относительно заданного направления. В качестве такого базисного направления могут выступать плоскость наклона скважины, направление вектора геомагнитного поля или направление, задаваемое специализированным гироскопическим блоком.

При использовании принудительной ориентировки измерительная система магнитометра находится в подвеске, которая ориентируется известным образом относительно некоторого базисного направления. Подобная схема с ориентировкой в плоскости искривления скважины была реализована первой и нашла наиболее широкое практическое применение. В частности, в таких популярных в недалеком прошлом приборах, как ТСМК-30 и КСМ-38 используются гравитационные ориентаторы, представляющие собой эксцентричный груз, ориентирующий измерительную систему в апсидальной плоскости скважины. В этом случае направления измеренных ортогональных составляющих вектора магнитного поля оказываются привязаны к направлению искривления исследуемой скважины, и определение пространственной ориентировки составляющих вектора в соответствии с географическими координатами осуществляется с привлечением данных инклинометрии. Пространственная ориентация измерительной системы с помощью эксцентричного груза не позволяет проводить полноценные векторные измерения в скважинах с наклоном менее $3-5^\circ$, в таких условиях возможны лишь измерения вертикальной составляющей магнитного поля. Поскольку большинство как заве-

рочных, так и поисковых скважин, в пределах перспективных на алмазонасность площадей, бурятся вертикальными, то ориентация измерительной системы трехкомпонентного магнитометра с помощью эксцентричного груза полностью исключается.

Пространственная ориентировка измерительной системы магнитометра в вертикальных скважинах может быть осуществлена путем использования в составе скважинного прибора гироскопического устройства для стабилизации положения измерительной системы (аналогичная конструкция может использоваться и для определения ее ориентировки). Опыт успешной практической реализации подобного подхода имеется у геофизиков Германии, создавших высокоточный трехкомпонентный скважинный магнитометр (достигнутая при измерениях точность составила ± 1 нТл) диаметром 88 мм с гироскопической стабилизацией ориентировки магниточувствительной системы [10]. В процессе исследований выяснилось, что дрейф гироскопического стабилизатора не являлся линейным, и в среднем составлял $\pm 0,5$ °/ч. Обратим внимание на то, что кроме магнитометра скважинный прибор дополнительно включал в себя и феррозондовый градиентометр; позволяющий получать дополнительную информацию о характере изменения геомагнитного поля.

Применение подобного устройства позволило бы принципиально решить проблему определения истинного положения измерительной системы векторного магнитометра вне зависимости от угла наклона исследуемой скважины и уровня намагниченности изучаемого разреза, что сделало бы такой прибор действительно универсальным. Однако, учитывая далеко не всегда положительный опыт эксплуатации малогабаритного гироскопического инклинометра ИГ-36 чешского производства, широко применявшегося на железорудных месторождениях, можно предположить, что изготовление подобного эффективно работающего в весьма жестких условиях скважин прецизионного прибора даже несколько большего диаметра будет очень непростой в техническом отношении задачей. Вместе с тем, нужно отметить, что к настоящему времени в России целый ряд предприятий освоил изготовление высококачественных гироскопических инклинометров, предназначенных для исследований нефтегазовых скважин достаточно больших диаметров (в частнос-

ти — ИГН 73-100/80 и ИГМ 73-120/60, оба диаметром 73 мм).

Иным образом проблема стабилизации положения измерительной системы была решена в процессе разработки и последующего изготовления уже упоминавшегося, предназначенного для изучения слабомагнитных объектов, высокоточного ΔT -магнитометра [2]. В этом приборе поддержание постоянной ориентации оси измерительного феррозонда вдоль направления полного вектора геомагнитного поля осуществлялось с помощью сервопривода управляемого сигналами с двух дополнительных ортогональных феррозондов. Скважинный магнитометр имел диаметр 65 мм.

К преимуществам пассивных систем определения ориентировки в целом можно отнести возможность размещения магниточувствительных элементов фактически на корпусе прибора, а не во вращающейся подвеске. Такие схемы не требуют применения коллектора и позволяют использовать в качестве магниточувствительных элементов более эффективные дифференциальные феррозонды. Однако для определения ориентировки измерительной системы требуется применение дополнительных, часто достаточно сложных устройств. По такой схеме построен наиболее совершенный в техническом отношении отечественный феррозондовый трехкомпонентный магнитометр-инклинометр МИ-3803 (диаметром 38 мм), разработанный в Институте геофизики УрО РАН (Ю. Г. Астраханцев и др., 1987). В приборе применено устройство определения ориентировки феррозондов, разработанное на основе трех взаимноортогональных акселерометров, измеряющих составляющие вектора ускорения силы тяжести. Поскольку акселерометры и феррозонды механически соединены таким образом, что их оси чувствительности имеют одно и тоже направление, то сигналы с акселерометров фактически определяются положением феррозондов относительно апсидальной плоскости скважины. Устройство позволяет проводить векторные измерения с погрешностью ± 20 нТл по всем составляющим вектора магнитного поля при углах наклона скважин не менее 2° . К негативным особенностям конструкций на основе акселерометров следует отнести то, что в моменты неравномерного (ускоренного) движения прибора в наклонных скважинах в показания акселерометров будет вноситься дополнительная погрешность.

На взгляд автора, для конкретных условий алмазопроисковых работ проблема определения пространственной ориентации магниточувствительных элементов в процессе выполнения магнитометрии в вертикальных скважинах может быть решена достаточно простым в техническом и методическом отношении способом. Действительно, в вертикальной скважине система из трех взаимно ортогональных феррозондов будет ориентироваться таким образом, что один из них (предназначенный для измерения вертикальной или соосной скважине составляющей магнитного поля) будет ориентирован вертикально, а два других расположены в горизонтальной плоскости. Поскольку положение одного из трех феррозондов известно, то остается определить ориентировку оставшихся двух. Так как намагниченность кимберлитовых трубок относительно невелика, и создаваемое ими аномальное магнитное поле практически не искажает нормальное Земное, то определение их положения может быть осуществлено относительно направления на магнитный север. Магнитное поле, действующее на горизонтально расположенные феррозонды, будет соответствовать векторной сумме горизонтальных составляющих нормального Земного магнитного поля \mathbf{B}_H (превалирующая часть) и аномального магнитного поля кимберлитовой трубки \mathbf{B}_a (весьма незначительная на фоне первой часть). Расчеты показывают, что на широте г. Мирный горизонтальная составляющая аномального магнитного поля величиной 250 нТл исказит направление на магнитный север не более чем на $1,2^\circ$, а при величине поля 500 нТл — на $2,4^\circ$.

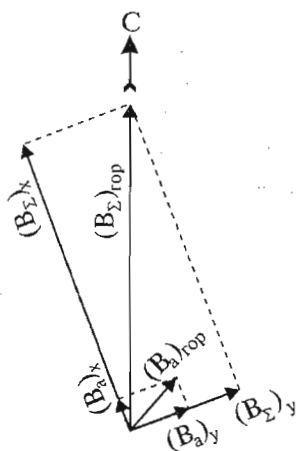


Рис. 2. Схема определения ориентировки измерительной системы трехкомпонентного скважинного магнитометра

Разберем алгоритм действий по выяснению ориентировки феррозондов, расположенных в горизонтальной плоскости. Для конкретности будем считать, что ориентировка положительных направлений горизонтальных датчиков поля X и Y (вид сверху) и измеряемые ими компоненты горизонтальной составляющей геомагнитного поля соответствуют показанным на рис. 2. Совместив вектор $(\mathbf{B}_Z)_{\text{top}} = \mathbf{B}_H + \mathbf{B}_a$, отстроенный по абсолютным значениям показаний датчиков X и Y , с направлением на магнитный север, мы тем самым определим их фактическую ориентировку и полярность в момент измерений. Отрицательный знак поля, измеренного датчиком, означает, что его полярность (ориентировка положительного направления) противоположна относительно указанного на рис. 2. Затем, в соответствии со стандартной методикой, с учетом знака, на эти направления наносятся значения горизонтальных составляющих аномального поля $(B_a)_x$ и $(B_a)_y$, и по ним отстраивается горизонтальная составляющая вектора аномального магнитного поля. Если предварительно вычесть из горизонтальных составляющих $(B_z)_x$ и $(B_z)_y$ их аномальные части $(B_a)_x$ и $(B_a)_y$, то определение ориентировки измерительной системы магнитометра может быть выполнено несколько точнее. Все эти манипуляции достаточно просто поддаются формальному описанию и при цифровой регистрации данных могут быть выполнены программным путем.

Другой проблемой, требующей решения, является относительно высокая погрешность определения составляющих вектора геомагнитного поля серийной скважинной магнитометрической аппаратуры, которая, как уже отмечалось ранее, для современных магнитометров составляет ± 20 нТл, а для разработанных ранее приборов находится на уровне ± 25 – 30 нТл. Для оценки требуемой точности можно воспользоваться номограммой [8], характеризующей распределение вертикальной составляющей индукции магнитного поля конусообразного тела в плоскости его осевого сечения, рассчитанной для случая вертикальной намагниченности интенсивностью $J = 1$ А/м (рис. 3). При таком намагничивании максимальное значение вертикальной составляющей магнитной индукции, зарегистрированное в скважине, проходящей в 50 м от верхней кромки тела диаметром 100 м, составит -40 нТл. Аналогичного уровня будет и максимальное значение горизонтальной

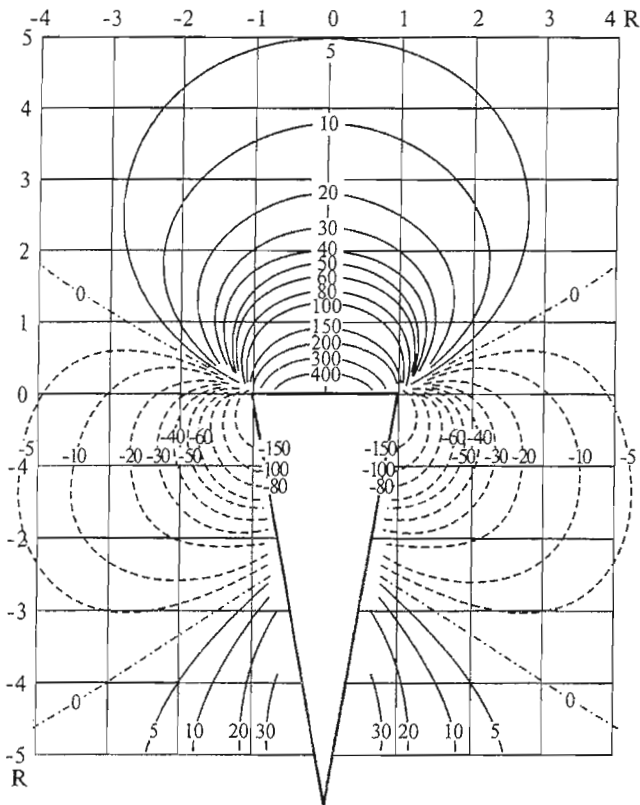


Рис. 3. Распределение вертикальной составляющей индукции магнитного поля вертикально намагниченного конуса: R — радиус верхней кромки конуса; изолинии оцифрованы в нТл

составляющей. Поскольку интенсивность магнитного поля объекта пропорциональна его намагниченности, то по этой палетке можно оценить уровень поля и при иных значениях этого параметра.

Таким образом, для эффективных поисков кимберлитовых тел в околоскважинном пространстве погрешность магнитометра при измерениях всех трех составляющих должна быть на уровне ± 5 нТл. Использование магнитометров, обеспечивающих точность измерения индукции магнитного поля порядка ± 1 нТл и выше, по-видимому, лишено смысла, поскольку неизбежные ошибки в определении ориентировки осей феррозондов и помехи как геологической природы, так и возникающие в процессе измерений перемещающимся по скважине прибором, не позволят реализовать такую точность при проведении исследований в производственных условиях. Заметим, что в настоящее время при выполнении скважинной магниторазведки с протонным магнитометром регистрация кривой ΔT осуществляется в масштабе не крупнее 10 нТл в см.

Снижение погрешности измерений у трехкомпонентного феррозондового магнитометра до величины ± 5 нТл и даже ниже не должно представлять существенных затруднений. Не обращаясь к зарубежному опыту, где применением феррозондов на основе тонкопленочных структур удалось добиться точности 10^{-2} нТл, можно заметить, что погрешность ± 5 нТл была достигнута при изготовлении многих приборов, в частности, такие показатели были получены только доработкой электронной схемы и конструкции подвески магниточувствительных преобразователей у массового прибора КСМ-38 [2]. Применение современных материалов для изготовления сердечников феррозондов и новых способов их термической обработки (Ю. Г. Астраханцев и др., 1999; В. Л. Нехорошков и др., 2002), а также более совершенной электронной части, позволит решить данную проблему. Скважинный магнитометр для геодинамических станций с разрешающей способностью 1 нТл уже был разработан сотрудниками ИГ УрО РАН (Ю. Г. Астраханцев, Г. В. Иголкина и др., 1998). Дополнительную точность может обеспечить лишенная подвески конструкция измерительной системы, а также применение дифференциальных феррозондов взамен одноэлементных зондов пик-типа, обычно используемых в самоориентирующихся системах.

Практический опыт проведения близких по своей сути измерений с пластовым наклономером [1] свидетельствует, что некоторые сложности для аналоговой регистрации и последующей интерпретации материалов трехкомпонентной скважинной магниторазведки приборами, неснабженными устройствами принудительной ориентировки, создаст их вращение вокруг своей оси при использовании стандартного бронированного каротажного кабеля. Ослабления вращение, а возможно и его полного устранения в процессе проведения исследований в относительно неглубоких вертикальных скважинах, можно достигнуть применением достаточно жестких центрирующих или прижимных устройств, а также использованием выпускаемых промышленностью каротажных кабелей в полимерной оболочке (заметим, что в последнее время в России освоен выпуск бронированных каротажных кабелей, закручивание которых в процессе проведения исследований сведено к минимуму). Однако, для гарантированного устранения подобного эффекта следует

применять вращающиеся кабельные наконечники. В принципе даже интенсивное вращение не является фатальным препятствием для полноценной интерпретации материалов, оно способно лишь несколько усложнить процедуру обработки полевых материалов при аналоговой их регистрации и ручной обработке.

Подытоживая все вышеизложенное, можно отметить, что в настоящее время потенциальные возможности скважинной магниторазведки при изучении объектов, перспективных на наличие проявлений кимберлитового магматизма, реализуются далеко не полностью. Основной причиной такого положения является массовое применение протонных магнитометров, которые, хоть и обладают высокой чувствительностью и стабильностью показаний, но позволяют измерять лишь *модуль* полного вектора геомагнитного поля. Векторные измерения параметров геофизических полей даже при проведении наземных исследований имеют существенные преимущества перед измерениями их абсолютных значений, но особенно велика их информативность при выполнении геофизических исследований в скважинах, когда профиль измерений (скважина) может проходить в любом месте относительно создающего аномалию геофизического поля геологического объекта.

Поскольку заверка магнитных аномалий “трубочного” типа осуществляются в пределах потенциально перспективных на наличие кимберлитового оруденения участков, то часто, даже если первые скважины не вскрыли источник аномалии, бурение с целью ее изучения продолжается вплоть до момента установления или ее геологической природы, или того факта, что она не связана с проявлениями кимберлитового магматизма. В результате число заверочных скважин возрастает до такой степени, что приближается к варианту, когда участок разбуривается по достаточно густой и регулярной сети. Однако даже при таком количестве скважин природа значительной части аномалий остается не выясненной, а неравномерная концентрация скважин не позволяет оценить перспективность участка в целом. Большое число геологических объектов, создающих геофизические аномалии-помехи “трубочного” типа, делает чрезвычайно актуальной разработку более совершенных методик разбраковки геофизических аномалий, минимизирующих количество заверочных скважин. Включение в

комплекс ГИС методов скважинной геофизики, в том числе скважинной магниторазведки, позволяющих опосредованно исследовать весьма значительный объем околоскважинного пространства, и призвано, прежде всего, способствовать более уверенному выявлению и пространственной локализации аномалиеобразующих объектов. Оперативная интерпретация материалов трехкомпонентной скважинной магниторазведки, выполняемой сразу по завершении бурения каждой заверочной скважины, начиная с самой первой, позволит сориентировать ход дальнейших поисковых работ и сделать более целенаправленным и геологически эффективным процесс разбуривания перспективного участка в целом.

Важнейшим преимуществом предлагаемого автором способа определения ориентировки измерительной системы магнитометра является то, что для его реализации не требуется дополнения конструкции магнитометра какими-либо специализированными устройствами. Анализ ситуации свидетельствует, что поскольку необходимо лишь некоторое повышение точностных параметров прибора, то разработка и изготовление необходимой скважинной магнитометрической аппаратуры может быть осуществлена в достаточно короткое время на базе уже упоминавшегося магнитометра-инклинометра МИ-3803. В пользу такого решения говорит и то, что данный комплексный прибор позволяет кроме скважинной магниторазведки проводить инклинометрию и каротаж магнитной восприимчивости [6]. Однако, если точность инклинометра достаточна, то канал каппаметрии требует доработки с целью повышения чувствительности. Хороший кадровый потенциал для решения данной проблемы имеется в Институте геофизики Уральского отделения РАН (ИГ УрО РАН), где и был разработан этот прибор. Представляется, что на начальном этапе можно будет провести опробование метода с применением магнитометра МИ-3803 без каких-либо дополнительных усовершенствований, поскольку возможно, что достигаемой им точности определения векторных характеристик магнитного поля будет достаточно для решения основных вопросов, связанных с определением геометрических параметров алмазонасных объектов повышенной магнитной восприимчивости и принятия принципиального решения о включении трехкомпонентной скважинной магни-

торазведки в обязательный комплекс геофизических исследований алмазопроисковых скважин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аузин А.А. Влияние вращения скважинных приборов на результаты исследований / А. А. Аузин // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геологическая. — 1997. — № 4. — С. 193—194.
2. *Магниторазведка*: справочник геофизика / под ред. В. Е. Никитского, Ю. С. Глебовского. — М.: Недра, 1990. — 470 с.
3. Миков Д.С. Руководство и альбом теоретических кривых для интерпретации данных скважинной магниторазведки / Д. С. Миков. — М.: Недра, 1974. — 81 с.
4. Попов А.А. Скважинный протонный магнитометр МСП-2 / А. А. Попов, Е. А. Брызгалов, В. Ш. Тенишев, Л. Г. Филиппычева // Геофизическая аппаратура. — Л.: 1986. Вып. 87. — С. 36—44.
5. Сараев А.К. Учет особенностей формы и намагниченности кимберлитовых трубок при интерпретации скважинных магнитных исследований / А. К. Сараев, Ю. Ф. Бертяев, Т. А. Кудрявцева // Методы разведочной геофизики. Геофизические исследования скважин при разведке рудных месторождений. — Л.: НПО "Рудгеофизика", 1986. — С. 24—35.
6. Скважинная магнитометрия / НТВ "Каротажник". Тверь: Герс, 1998. — № 45. — С. 95—100.
7. Скважинная магниторазведка (методические рекомендации в двух частях) / под ред. В. Н. Пономарева, А. Н. Авдониной. — Свердловск, Изд. ПГО Уралгеология, 1984. — 240 с.
8. Федьинский В.В. Разведочная геофизика / В. В. Федьинский. — М.: Недра, 1964. — 672 с.
9. Яговкина Т.А. Опыт применения магнитного каротажа (измерения α и ΔT) при поисках кимберлитовых трубок / Т. А. Яговкина, А. А. Преображенский, Л. Г. Филиппычева, И. А. Погудин // Методы разведочной геофизики. Каротаж на рудных месторождениях. — Л.: НПО "Рудгеофизика", 1980. — С. 33—37.
10. Bosum W. A giro-oriented 3-component borehole magnetometer for mineral prospecting, with examples of its application / W. Bosum, D. Eberle, H.-J. Rehli // Geophys. Prosp. 1988. — Vol. 36, № 8. — P. 933—961.