

Обнаруженное нами весьма чувствительное изменение петроэлектрических параметров в связи с присутствием в карбонатных горных породах высокопроводящих растворов может быть использовано полевыми методами электротометрии при экспрессном контроле миграции «складированных» природных рассолов и технических опасных жидких веществ в геологических разломных или искусственных наружных объемах в окружающую среду с целью сохранения естественных природных ландшафтов.

Авторы благодарят Н.Н.Зинчука и А.Д.Петровского за помощь и внимание к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко А.Т., Борис Е.И., Стогова В.А. Латеральное изменение электрических свойств кимберлитов-вмещающих осадочных пород Западной Якутии // Геология и геофизика. – 1995. - Т.36, № 3. – С. 119-125.
2. Бондаренко А.Т., Ковалев Ю.Д., Зинчук Н.Н. и др. Петрофизическая характеристика околотрубочного пространства кимберлитовой трубки Восток Сибирской платформы // Руды и металлы. – 1997. - № 1. – С.81-89.
3. Зинчук Н.Н., Бондаренко А.Т., Гарат М.Н. Петрофизика кимберлитов и вмещающих пород. – М., 2002. – 695 с.
4. Зинчук Н.Н., Зинчук М.Н., Пизнюр А.В., Ягнышев Б.С. Факторы минералообразования и некоторые экологические аспекты кимберлитов. – Воронеж, 2003. – 110 с.
5. Игнатов П.А., Штейн Я.И., Зинчук Н.Н. и др. Физические и структурно-петрофизические характеристики осадочных пород, вмещающих Ботуобинскую кимберлитовую трубку, Центральная Якутия // Руды и металлы. – 1999. - № 5. – С. 41-49.
6. Микоев И.И. Методика радиоволнового просвечивания при поисках кимберлитов Якутской алмазоносной провинции. – Воронеж, 2001. – 50 с.
7. Петровский А.Д. Радиоволновые методы в подземной геофизике. – М., 2001. - 290 с.
8. Цыганов В.А. Надежность геолого-поисковых систем. – М., 1994. – 299 с.
9. Игнатов П.А., Бушков К.Ю., Штейн Я.И. и др. Участки флюидно-магматической активности в Накынском кимберлитовом поле // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. – Воронеж, 2003. – С. 530-531.
10. Попивняк И.В. Декрептометрический критерий прогнозирования месторождений алмазов // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов. – Мирный, 1988. - С. 293-296.
11. Ягнышев Б.С., Ягнышева Т.А., Таврат Т.П. и др. Геохимические ореолы кимберлитов Накынского поля // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов. – Мирный, 1988. – С. 337-339.
12. Павлов В.А., Солопанов А.Т., Заостровцев В.Н. Опыт промышленного захоронения дренажных рассолов карьера Удачный в многолетнемерзлые породы // Горный журнал. – 2000. - № 7. – С. 60-62.

УДК 550.831

ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ПРИ РАЗБРАКОВКЕ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ ТРУБОЧНОГО ТИПА

Ю.В. Антонов, В.И. Жаворонкин, С.В. Слюсарев, В.И. Ключников*, А.Н. Слюсарев*

*Воронежский государственный университет
ЗАО "Архангельские алмазы"

В статье рассмотрены вопросы разбраковки аэромагнитных аномалий в районах распространения кимберлитовых трубок. Показано, что существенно повысить однозначность геологической интерпретации аномалий позволяет метод вертикального градиента силы тяжести.

С тех пор, как были открыты алмазосодержащие кимберлитовые трубки, начались регулярные геофизические исследования по их обнаружению. Оказалось, что большая часть кимберлитовых тел отмечается положительными аномалиями магнитного поля небольшой интенсивности. Что же касается других методов, то здесь возникли трудности, связанные, прежде всего, с причинами технического и методического характера, а также с петрофизическими особенностями трубок относительно вме-

щающих горных пород. На первом этапе не хватало точности существующей аппаратуры. Например, кимберлитовые трубки создают аномалии силы тяжести очень малой интенсивности, которые серийными гравиметрами выявить нельзя, поскольку погрешность наблюдений соизмерима с амплитудой аномалий. Что же касается сейсморазведки, то она практически на стадии поисков не применима, так как до сих пор не разработаны основы рудной сейсморазведки, несмотря на многочисленные попытки

в этой области. Электроразведка также оказалась малоэффективной при поисках кимберлитовых трубок из-за изменчивости в очень широких пределах удельного электрического сопротивления кимберлитов и вмещающих пород.

В последнее время в связи с появлением высокоточных гравиметров, позволяющих измерять вертикальный градиент силы тяжести, удалось показать, что кимберлитовые трубки достаточно уверенно выделяются в поле вертикального градиента, как в Якутской алмазонасной провинции, так и в Архангельской [1]. Возможность использования еще одного геофизического метода при анализе магнитных аномалий повышает надежность идентификации аномалий трубчатого типа. Поскольку метод вертикального градиента силы тяжести более трудоемкий, то он должен применяться для проверки отдельных магнитных аномалий. Поэтому на первом этапе необходимо проводить тщательный анализ аэромагнитных аномалий, поскольку в геологическом разрезе помимо кимберлитовых трубок имеется много объектов, создающих возмущения магнитного поля, похожие на аномалии от кимберлитовых трубок. Такие объекты могут находиться, как в кристаллическом фундаменте, так и в перекрывающей фундамент толще осадочных пород.

Помехи от намагниченных объектов в фундаменте носят двойной характер. Первые представляют собой геологические образования крупных размеров с высокой намагниченностью, создающие интенсивные сильно градиентные магнитные аномалии, на фоне которых аномалии трубчатого типа небольшого размера и с малой амплитудой трудно обнаружить. В этом случае локальные аномалии на фоне интенсивных аномалий более или менее уверенно выделяются с помощью трансформаций. Выделенные таким образом локальные аномалии имеют ту же геологическую нагрузку и анализируются вместе с остальными локальными аномалиями.

Вторые могут быть соразмерными с аномалиями трубчатого типа, и как показал опыт работы в пределах территории Архангельской алмазонасной провинции, такие аномалии могут создавать четвертичные образования, залегающие в виде сплошного покрова переменной мощности на эродированной поверхности пород верхнего отдела венда и палеозоя, в которых находятся валунно-галечниковые отложения ледникового генезиса. Образование четвертичной системы в объеме средне-четвертичного, верхнечетвертичного и современного звеньев представлены комплексом ледниковых, морских, озерных, флювиогляциальных и современных аллювиальных осадков. Их литолого-генетические особенности предопределены рельефом и составом подстилающих пород, неоднократными оледенениями и морскими трансгрессиями, охватившими в различной степени территорию. Мощность четвертичных осадков изменяется в широких пределах: от первых метров на водоразделах до более двухсот метров в палеодолинах древней речной

сети. Анализируя магнитные характеристики отложений различного литологического состава, полученные по капаметрии керн заверочных скважин, а также по лабораторным измерениям на образцах, следует отметить тот факт, что 75% всех встреченных повышенных значений магнитной восприимчивости (в 1,5 раза выше среднего, т.е. $\geq 60 \times 10^{-5}$ ед.СИ) приурочены к первым 30 м разреза. Изменяясь от первых единиц до нескольких сотен единиц (в редких случаях), средняя величина магнитной восприимчивости четвертичных осадков колеблется в пределах $40-45 \times 10^{-5}$ ед.СИ. На рис. 1 представлен типичный график изменения магнитной восприимчивости по одной из заверочных скважин. Четко видно увеличение ее для четвертичных отложений. Непредсказуемо ведет себя намагниченность валунно-галечниковых отложений, которая зависит от вещественного состава валунов и гальки и процентного содержания их в рыхлых отложениях. Намагниченность валунно-галечниковых отложений сопоставима с намагниченностью кимберлитовых трубок, поэтому нередко аномалии от них принимают за аномалии от трубок [5].

На втором этапе проводятся наземные магнитные съемки непосредственно по выделенным методом обратных вероятностей перспективным аэромагнитным аномалиям. Отбраковка методом обратных вероятностей, как показала практика, не является гарантией стопроцентной надежности. Как известно, в силу эквивалентности приповерхностные образования могут создать аномалии очень похожие на аномалии трубчатого типа. Поэтому над указанными аномалиями рекомендуется проводить измерения вертикального градиента силы тяжести.

Измерение вертикального градиента имеет ряд преимуществ перед съемкой силы тяжести. Так как при съемке градиента измеряется абсолютная величина, то нет необходимости в разбивке опорной сети. Кроме этого, снижены требования к высотной привязке в отличие от измерений силы тяжести. Привязка по высоте может быть осуществлена по картам масштаба 1:50 000 и крупнее. Эти особенности имеют очень важное технологическое значение для условий Крайнего Севера

Измерение вертикального градиента, в соответствии с разработанной методикой, выполняется по двум взаимно ортогональным профилям, проходящим через эпицентр магнитной аномалии. Шаг съемки 20 м со сгущением в эпицентре аномалии до 10 м. Вертикальный градиент определяется с помощью высокоточных гравиметров путем измерения силы тяжести на двух высотах с разницей высот $h = 0.75 \div 0.90$ метра.

Реальная погрешность измерений градиента силы тяжести составляет ($\pm 10-15$) этвеш. Поскольку расстояние h менее одного метра для всех плотностных неоднородностей, залегающих глубже 10 – 30 м, равенство между измеренными и теоретическими значениями будет выполняться.

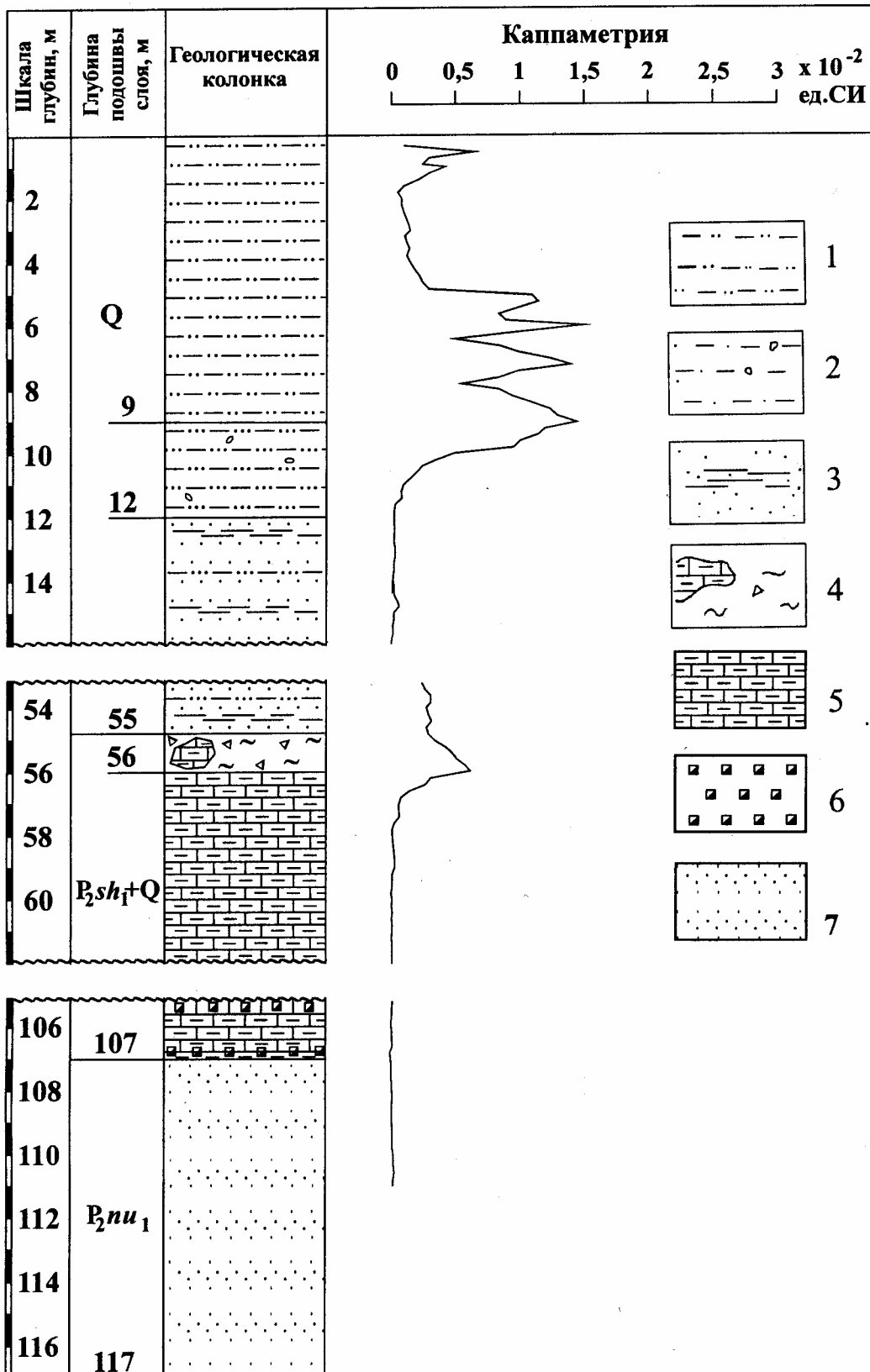


Рис.1. Характер изменения магнитной восприимчивости вдоль ствола заверочной скважины на магнитной аномалии Vs 10/4: 1 - супеси с обломками кристаллических пород фундамента; 2 - суглинки плотные, моренные, запесоченные с валунно-галечным материалом основных – ультраосновных пород фундамента; 3 - пески мелкозернистые озерно-речного генезиса с прослоями черных глин; 4 - глинистая кора выветривания по мергелям, с обломками мергелей; 5 – мергели; 6 – огипсование; 7 – переслаивание песка и песчаника

В зависимости от поставленных задач точность измерений вертикального градиента определяется необходимой кратностью наблюдений из формулы

$$\varepsilon_{zz} = \frac{\sqrt{2}\varepsilon_z}{\Delta h\sqrt{n}}, \quad (1)$$

где ε_{zz} – среднеквадратическая погрешность измерения вертикального градиента силы тяжести; ε_z – среднеквадратическая погрешность единичного измерения силы тяжести; n – количество приращений силы тяжести между верхним и нижним замерами; Δh – расстояние между площадками измерения силы тяжести.

При линейном смещении нуля - пункта обработка ведется путем последовательного вычисления простых приращений

$$\frac{(a_i + a_{i+2})}{2} - b_{i+1}; \frac{(b_{i+1} + b_{i+3})}{2} - a_{i+2}; \text{ и т.д.,} \quad (2)$$

где a и b – отсчеты гравиметра соответственно на верхней и нижней площадках подставки; i - общая нумерация для наблюдений внизу и вверху в той последовательности, в которой проводились измерения.

Как известно любые инструментальные наблюдения содержат в себе погрешности наблюдений, и чтобы уменьшить их влияние, лучше проводить предварительное осреднение полученных данных по трем точкам

$$(a_{i-2} + a_i + a_{i+2})/3 \text{ и } (b_{i-2} + b_i + b_{i+2})/3 \quad (3)$$

В этом случае наилучшая сходимость получается не только в цикле измерений, но и по контрольным наблюдениям.

Точность наблюдений можно оценить в первом случае по формуле (1). Наблюдения силы тяжести наверху или внизу подставки содержат в себе ошибку ε_z . Тогда при вычислении приращения силы тяжести между повысотными измерениями погрешность увеличится до $\varepsilon_z \cdot \sqrt{2}$. Дальнейшее суммирование приращений силы тяжести по всему циклу измерений позволяет уже уменьшить ошибку в \sqrt{n} раз.

Если проводить предварительное сглаживание, то в сглаженных значениях случайная погрешность уменьшится в \sqrt{m} раз, а при вычислении разностей уже составит $\varepsilon_z \sqrt{2/m}$, где m – количество точек в интервале сглаживания. Но при сглаживании уменьшится количество приращений на две единицы, если сглаживание ведется по трем точкам. Следовательно общая погрешность будет оцениваться по формуле

$$\varepsilon_{zz} = \frac{\varepsilon_z \sqrt{2}}{\sqrt{m(n-2)}}, \quad (4)$$

Количественная интерпретация выполняется путем решения обратной задачи гравиметрии на основе эквивалентного подбора [4]. Метод решения, как для силы тяжести, так и для её вертикального

градиента абсолютно одинаков за исключением того, что коэффициенты матрицы при неизвестных плотностях в элементарных ячейках рассчитываются по разным функциям. Необходимо отметить, что решение обратной задачи для вертикального градиента менее устойчиво, чем для силы тяжести, что является вполне логичным, но в тоже время для градиента изменение пределов эквивалентности несколько меньше.

Решение обратной задачи проводится при различных значениях параметра регуляризации. После этого из всех полученных решений выбирается одно, которое соответствует не только критериям решения некорректных задач, но и конкретной геологической ситуации.

Проиллюстрируем возможности предлагаемой методики при разбуровке магнитных аномалий на результатах работ выполненных на юге Архангельской области. Полученные данные представлены на рис. 2 и 3. По распределению вертикального градиента на основе решения обратной задачи гравиметрии были построены геоплотностные разрезы. В верхней части рисунков приведены графики магнитного поля ΔT и вертикального градиента V_{zz} . На указанных магнитных аномалиях проведено заверочное бурение.

Аномалия 10 (рис.2). Наземная магнитная аномалия ΔT имеет несколько вытянутую форму. Приведенные результаты измерения градиента относятся к профилю, проходящему вкост магнитной аномалии. На фоне интенсивных значений вертикального градиента отмечается относительное его понижение порядка 200 этвеш. Его можно увязать с палеодолиной, которая заполнена отложениями пониженной плотности. На месте самой магнитной аномалии отмечаются резкие локальные аномалии градиента силы тяжести. У аномалии вертикального градиента явно выраженные минимумы по бокам, что свидетельствует о неглубоком залегании нижней кромки возмущающего объекта и наличии аномальных объектов с избыточной плотностью разного знака. Можно высказать предположение, что аномалию вертикального градиента может вызвать скопление руслового галечника. Кстати, приведенное на рис.1 распределение магнитной намагниченности получено именно на этой аномалии после бурения скважины, которая подтвердила сделанные выводы. То же самое наблюдаем в результатах решения обратной задачи для вертикального градиента. В нижней части рис. 2 приведен геоплотностной разрез, построенный на основе решения обратной задачи методом эквивалентного подбора. Положительные значения избыточных плотностей обозначены сплошными изолиниями. Все максимумы и минимумы изоплотностей располагаются не глубже 50 метров, что соответствует мощности четвертичных образований. Таким образом, рассматриваемая магнитная аномалия практически однозначно объясняется особенностями вещественного состава четвертичных отложений.

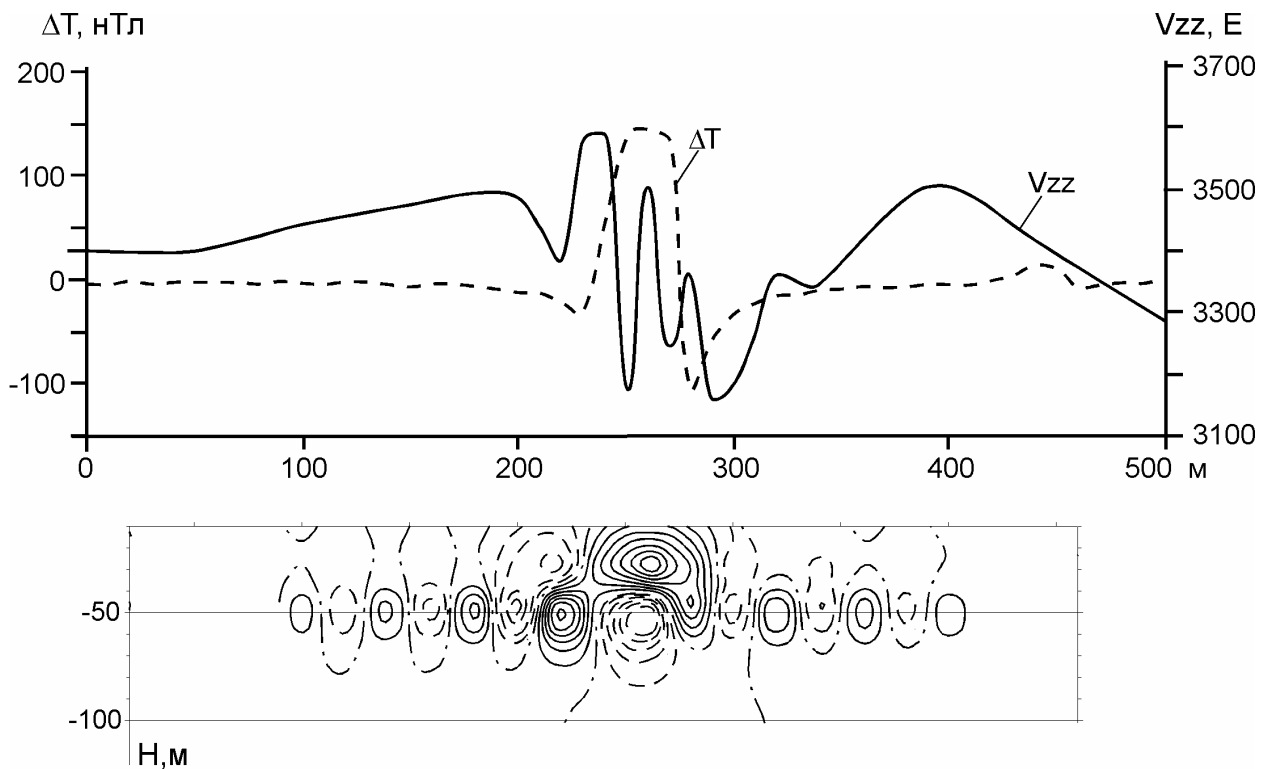


Рис. 2. Пример распределения магнитного поля и вертикального градиента силы тяжести над палеодолиной (аномалия 10)

Аномалия 13 (рис.3). Соотношение между аномалиями магнитного поля и вертикального градиента примерно такое же, как и на аномалии 10. Однако, аномалия вертикального градиента менее дифференцирована по сравнению с аномалией на рис.2 и полностью совпадает с изометричной в плане аномалией ΔT . В данном случае мы вероятно имеем дело с камом, в котором аккумуляровались валунно-галечниковые отложения. Отметим еще одно обстоятельство, на рис.3 приведен график магнитного поля, полученный после завершения буровых работ. Совершенно очевидно, что после бурения участок возле скважины настолько захламляется техногенным магнитным материалом, что уже не подлежит изучению магнитным методом. В этом случае только измерения вертикального градиента силы тяжести могут дать полезную геологическую информацию.

Заключение

Метод вертикального градиента силы тяжести в комплексе с магниторазведкой позволяет практически однозначно решать задачу разбраковки магнитных аномалий, перспективных на обнаружение кимберлитовых трубок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Ю.В., Слюсарев С.В., Зубченко Е.А. Природа аномалий вертикального градиента силы тяжести над горными сооружениями Южного Тянь-Шаня // Изв. вузов. Геол. и разведка. -1990. -№7. -С. 102-107.
2. Антонов Ю.В., Жаворонкин В.И., Слюсарев С.В. Возможности гравиметрии при поисках кимберлитовых трубок на примере Архангельской алмазоносной провинции // Научный вестник Национальной горной академии Украины. -2001. -№4. -С.73-74.
3. Антонов Ю.В., Жаворонкин В.И., Муравина О.М., Слюсарев С.В. Результаты изучения вертикального градиента силы тяжести на Мирненском кимберлитовом поле (Саха-Якутия) // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. -1998. -№ 5. -С. 180-185.
4. Антонов Ю.В., Муравина О.М., Слюсарев С.В. Эквивалентный подбор распределения избыточных масс по аномалиям силы тяжести на криволинейной поверхности // Изв. вузов. Геол. и разведка. -1991. -№11. - С.100-105.
5. Ключников В.И., Слюсарев А.Н. Характер и величина намагниченности четвертичных отложений Зимнебережного района Архангельской алмазоносной провинции // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. -2001. - №11. -С.257-261.
6. Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации.- М., 1986. -342 с.

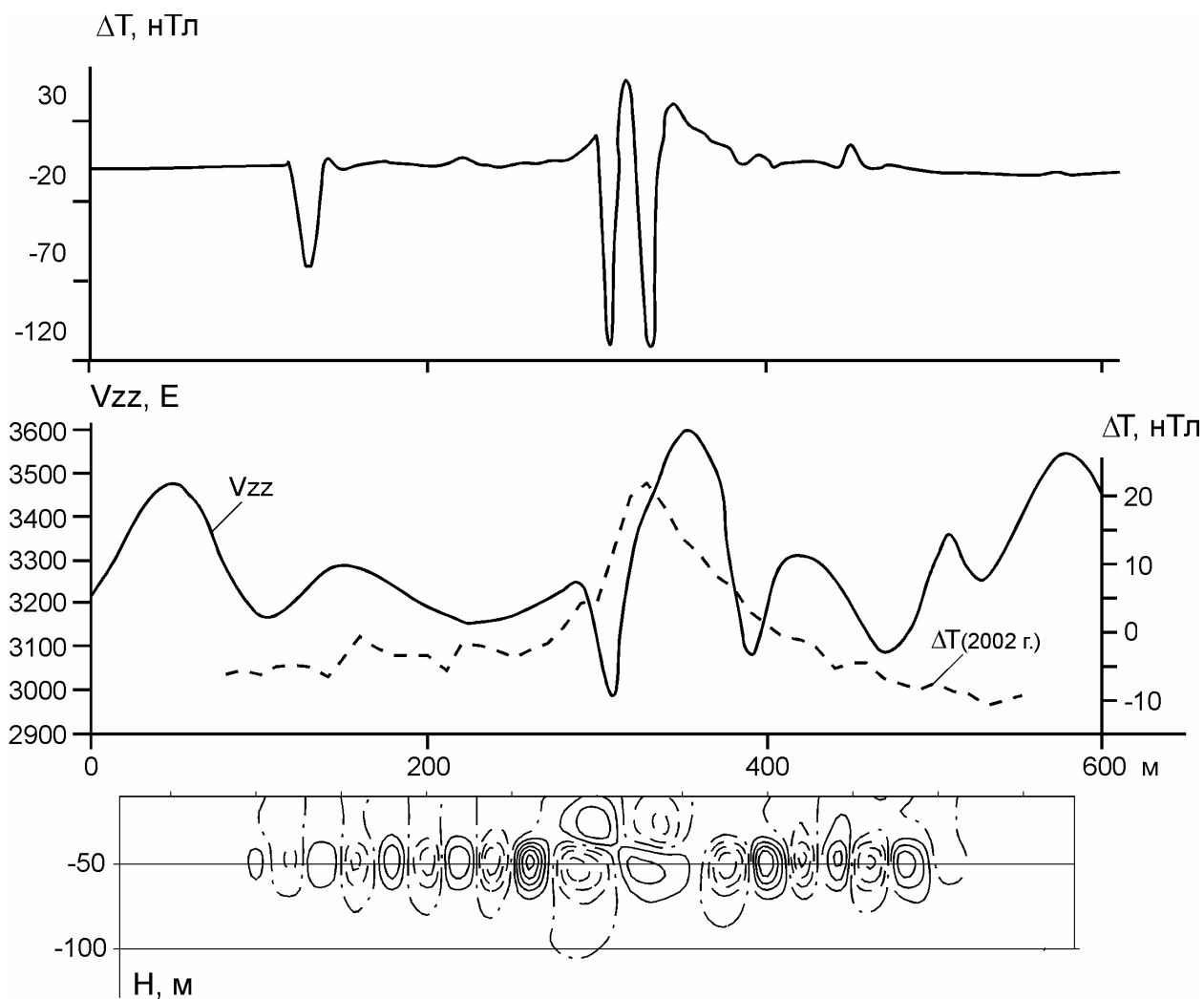


Рис. 3. Распределение магнитного поля и вертикального градиента силы тяжести над камом (аномалия 13)

7. Старостенко В.И. Устойчивые численные методы в задачах гравиметрии. - Киев, 1978. -228 с. 8. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. - М., 1986. -224 с.