

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **041195**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.09.26

(51) Int. Cl. **G01V 3/30 (2006.01)**
G01V 3/38 (2006.01)

(21) Номер заявки
202090613

(22) Дата подачи заявки
2020.03.26

(54) СПОСОБ ОБЪЕМНОЙ РАДИОВОЛНОВОЙ ГЕОИНТРОСКОПИИ ГОРНЫХ ПОРОД В МЕЖСКВАЖИННОМ ПРОСТРАНСТВЕ

(43) **2021.09.30**

(56) RU-C1-2084930
RU-C1-2382386
US-A1-4994747
US-A1-5066917
CN-A-107037488
US-B2-9008970

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"РАДИОНДА" (RU)**

(72) Изобретатель:
**Истратов Вячеслав Александрович,
Колбенков Алексей Викторович,
Кузнецов Никита Михайлович,
Перекалин Сергей Олегович,
Черепанов Артем Олегович (RU)**

(74) Представитель:
Шульгин В.Д. (RU)

(57) Изобретение относится к средствам межскважинных геофизических исследований, в частности к способам измерений, обработки и интерпретации данных радиоволнового межскважинного и скважинно-наземного просвечивания. Сущность изобретения заключается в следующем: используют по меньшей мере три скважины, расположенные в узлах треугольной сети; осуществляют выбор оптимальной рабочей частоты излучателя и приемника в соответствии с расчетным значением диаметра зоны Френеля при заданном расстоянии между излучателем и приемником и заданном среднем значении удельного электрического сопротивления горных пород; проводят радиоволновые просвечивания пространства между каждой парой скважин излучателем и приемником по веерной схеме с заданным шагом просвечивания, на каждом шаге просвечивания проводят настройку антенны излучателя в резонанс; регистрируют данные измерений, включающие значения осевой компоненты электрического поля на приемнике, значения тока на антенне излучателя и значения активного сопротивления на ее выходе; приводят все измеренные значения осевой компоненты электрического поля к одному значению тока в антенне излучателя; осуществляют математическое разбиение межскважинного пространства на элементарные ячейки, форму и размеры которых определяют исходя из геометрии измерений и диаметра зоны Френеля; проводят одновременную обработку данных измерения по всем сечениям радиоволнового просвечивания с вычислением значений эффективного электрического сопротивления каждой элементарной ячейки; по итогам обработки данных измерений строят объемную геоэлектрическую карту исследованного межскважинного пространства, представляющую собой трехмерную матрицу по трем координатам элементарных ячеек в пространстве и значению удельного электрического сопротивления каждой такой ячейки. Технический результат заключается в повышении точности локализации и определения свойств неоднородностей, залегающих в пространстве между излучателем и приемником.

B1**041195****041195****B1**

Область техники

Настоящее изобретение относится к средствам межскважинных геофизических исследований, в частности к способам измерений, обработки и интерпретации данных радиоволнового межскважинного и скважинно-наземного просвечивания. Изобретение может быть использовано для изучения строения и физических свойств горных пород, обнаружения локальных неоднородностей, расположенных в межскважинном пространстве.

Уровень техники

В последние годы в связи с увеличением глубины поисково-разведочных работ на рудных месторождениях значительно возросла роль межскважинных геофизических исследований (МГИ) [1]. Арсенал средств МГИ представлен набором методов, среди которых являются известными и широко распространенными сейсмоакустика - межскважинное прозвучивание; скважинная электроразведка - радиоволновое просвечивание вкупе с электрической корреляцией на постоянном и переменном токе; методы, предполагающие применение скважинных георадарных установок. МГИ основаны на анализе результатов измерений характеристик физических полей, в частности электромагнитных полей, в одной скважине от источников, расположенных в другой скважине. МГИ используются для целей поиска и разведки месторождений золота и цветных металлов, алмазов (трубок кимберлитов); мониторинге распространения технологических растворов в межскважинном пространстве при подземном выщелачивании урана и заводнении нефтяных месторождений, а также при инженерно-геологических изысканиях для обнаружения карстовых полостей, линз таликов в мерзлых породах и других локальных неоднородностей. МГИ проводятся и для решения инженерных задач, например поиск старых горных выработок и скважин. Диапазон расстояний между скважинами при изучении межскважинного пространства средствами МГИ может простирается от нескольких до сотен метров.

Одним из наиболее эффективных средств МГИ является метод радиоволнового просвечивания, используемый при поиске электрически контрастных рудных объектов. В основе метода лежит зависимость прохождения радиоволн от электромагнитных свойств среды: породы низкого электрического сопротивления сильнее поглощают радиоволны, что обеспечивает возможность по измеренному ослаблению поля выявлять проводящие рудные объекты.

В частности, известны способы обработки данных радиоволнового просвечивания, основанные на выделении аномалий в межскважинном пространстве по относительному уменьшению напряженности поля на наблюдаемой кривой ("Способ тени" [2, с. 150]), путем сопоставления наблюдаемой кривой напряженности поля с кривыми напряженности нормального поля ("Способ сравнения" [2, с. 151]). Другим близким к настоящему изобретению техническим решением является способ обработки данных радиоволнового просвечивания, изложенный в [3].

Прототипом настоящего изобретения является способ радиоволнового межскважинного просвечивания, раскрытый в патенте на изобретение RU 2084930 (дата приоритета: 22.07.1993, МПК G01V 3/12) [4]. Сущность известного изобретения заключается в следующем. В межскважинном пространстве возбуждают электромагнитное поле и регистрируют его, рассчитывают нормальное поле для всех зарегистрированных лучей без соблюдения условия малости радиальной компоненты. При этом поиск и учет анизотропии производят итерационно для каждой компоненты (полярной и радиальной) электромагнитного поля, причем все геометрические построения ведут в плоскости, обеспечивающей минимальные погрешности. Затем выделяют дифракционные искажения и учитывают их, определяют характерные форму и размеры объекта и оценивают достоверность полученного результата по степени совпадения расчетной томограммы с эталонным каталогом томограмм; производят определение электрических свойств аномального объекта. Помимо прочего, различные методы локализации аномалий применяются одновременно, что обеспечивает разрешение внутренних противоречий интерпретационной модели, причем сам процесс расчетов производят итерационно вплоть до достижения заданной точности.

К основным недостаткам известного способа следует отнести следующие:

результат обработки отображается в виде проекции "плоскости просвечивания" на вертикальную плоскость, проходящую через стволы исследуемых скважин. Поэтому наилучшим образом он работает в строго вертикальных скважинах, а при использовании для просвечивания наклонных скважин и особенно искривленных по азимуту построенные в плоскости просвечивания аномалии поглощения могут быть существенно деформированы как по форме и размерам, так и по элементам залегания в пространстве;

применяемые способы обработки и анализа разработаны на основе решения задачи для двумерного пространства и не позволяют учесть влияние неоднородностей, расположенных в стороне от плоскости просвечивания;

заложенный в этом способе принцип выбора рабочей частоты просвечивания, как максимально высокой, обеспечивающей при заданном расстоянии и электрическом сопротивлении пород максимальную разрешающую способность для выделения объектов малого размера, предопределил возможность только раздельной обработки данных по каждому сечению и допускал пропуск объектов, расположенных в пространстве между сечениями;

крайне важным недостатком известного способа является недоучет влияния электрических свойств горных пород, расположенных непосредственно вблизи ствола скважины.

Используемые для просвечивания осевые электрические антенны, особенно излучающие, крайне чувствительны к электрическим характеристикам среды непосредственно в пунктах излучения и приема. Недочет этого влияния приводит к значительным отклонениям фактического коэффициента измерительной установки от расчетного значения, используемого при обработке, и потому приводит к значительным ошибкам при выявлении и локализации аномалий поглощения. Неустойчивость и, главное, неконтролируемость изменения коэффициента установки как по стволу скважины, так по соседним скважинам, связанное в основном с изменением величины тока в излучающей антенне, делает невозможной одновременную совместную обработку данных даже по соседним сечениям просвечивания и практически исключает возможность перехода к алгоритмам 3D обработки и построения объемной геоэлектрической карты исследованного массива.

Раскрытие сущности изобретения

Техническая задача, поставленная перед авторами настоящего изобретения, заключается в создании способа объемной радиоволновой геоинтроскопии горных пород, позволяющего проводить физически обоснованную и математически правильную объемную интерполяцию всех полученных данных межскважинного просвечивания для выявления в объеме исследованного пространства электрически контрастных неоднородностей геологической среды, определения их границ и формы.

Технический результат, достигаемый при осуществлении настоящего изобретения, заключается в повышении точности локализации и определения свойств неоднородностей, залегающих в пространстве между излучателем и приемником.

Технический результат достигается способом объемной радиоволновой геоинтроскопии горных пород в межскважинном пространстве, сущность которого заключается в следующем:

обеспечивают возможность проведения радиоволновых просвечиваний межскважинного пространства излучателем и приемником с использованием по меньшей мере трех скважин, расположенных в узлах треугольной сети;

осуществляют выбор оптимальной рабочей частоты излучателя и приемника в соответствии с расчетным значением диаметра зоны Френеля при заданном расстоянии между излучателем и приемником и заданном среднем значении удельного электрического сопротивления горных пород;

проводят радиоволновые просвечивания пространства между каждой парой скважин излучателем и приемником по веерной схеме с заданным шагом просвечивания, при этом на каждом шаге просвечивания проводят настройку антенны излучателя в резонанс, регистрируют данные измерений, включающие значения осевой компоненты электрического поля на приемнике, значения тока на антенне излучателя и значения активного сопротивления на ее выходе;

приводят все измеренные значения осевой компоненты электрического поля к одному значению тока в антенне излучателя;

осуществляют математическое разбиение межскважинного пространства на элементарные ячейки, форму и размеры которых определяют исходя из геометрии измерений и диаметра зоны Френеля;

проводят одновременную обработку данных измерения по всем сечениям радиоволнового просвечивания с вычислением значений эффективного электрического сопротивления каждой элементарной ячейки;

по итогам обработки данных измерений строят объемную геоэлектрическую карту исследованного межскважинного пространства, представляющую собой трехмерную матрицу по трем координатам элементарных ячеек в пространстве и значению удельного электрического сопротивления каждой такой ячейки.

В частности, излучатель представлен дипольным излучателем.

В частности, заданные расстояния R между каждыми парами скважин, расположенных в узлах треугольной сети, являются практически равными.

В частности, заданные расстояния R между скважинами характеризуются предельно допустимым отклонением $\delta R \leq \pm 0,15R$.

В частности, при выборе рабочей частоты излучателя и приемника расчетное значение диаметра зоны Френеля обеспечивает взаимное перекрытие исследованных областей пространства по смежным сечениям не менее чем на 20%.

Использование настоящего изобретения на практике позволяет проводить последующую интерпретацию данных радиоволнового просвечивания с повышенной степенью достоверности конечных суждений о локализации и свойствах объектов радиоволнового просвечивания. Это преимущество настоящего изобретения в сравнении с техническими решениями, известными из предшествующего уровня техники, обусловлено тем, что заявленный способ позволяет проводить учет влияния неоднородностей, расположенных в стороне от плоскости просвечивания; исключает пропуск объектов, расположенных в пространстве между плоскостями просвечивания за счет совместной обработки данных всех результатов просвечивания; исключает искажение получаемой формы и размеров исследуемых аномалий; учитывает влияние электрических свойств горных пород, расположенных непосредственно вблизи ствола скважины.

При исследовании патентной и научно-технической литературы не была выявлена совокупность

признаков, идентичная совокупности существенных признаков, изложенных в формуле настоящего изобретения.

Краткое описание фигур

Осуществление настоящего изобретения проиллюстрировано чертежами, в соответствии с которыми:

- на фиг. 1а представлена структурная схема системы для осуществления заявленного способа;
- на фиг. 1б представлена схема веерного радиоволнового просвечивания;
- на фиг. 1в и 1г представлены схемы определения контура зоны Френеля;
- на фиг. 2 представлена блок-схема, иллюстрирующая последовательность действий в заявленном способе;
- на фиг. 3а представлена схема размещения скважин по площади исследуемого пространства;
- на фиг. 3б представлена схема размещения скважин по площади исследуемого пространства в перспективе, иллюстрирующая схему веерного просвечивания межскважинного пространства;
- на фиг. 4 представлена схема интерполяции данных радиоволнового просвечивания в плане при трехмерной обработке;
- на фиг. 5а-5г представлены сечения 3D карты радиоволновой геоинтроскопии по результатам поиска субвертикальных кимберлитовых тел (алмазонасных "трубок"), перекрытых с поверхности мощной толщей терригенных пород и долеритов, по редкой сети бурения;
- на фиг. 6а-6г представлены сечения 3D карты радиоволновой геоинтроскопии по итогам инженерно-геологических изысканий при строительстве высотного здания.

Осуществление изобретения

Настоящее изобретение может быть использовано в рудной, нефтяной, урановой и инженерной геологии для дистанционной оценки объемов рудных тел твердых и залежей жидких полезных ископаемых, к примеру нефти, а также карстовых полостей и криопэгов (высокоминерализованных талых пород с отрицательной температурой). Для применения настоящего изобретения могут быть использованы любые скважины (поисково-разведочные, гидрогеологические, нефтяные, газовые, инженерно-изыскательские) диаметром не менее 45 мм, заполненные любым раствором или воздухом, с открытым стволом или с обсадкой из неметаллических труб.

Под термином "интроскопия" понимается неразрушающее исследование (визуализация) внутренней структуры объекта или процессов в непрозрачных средах с помощью звуковых волн (в том числе ультразвуковых и сейсмических), электромагнитного излучения различных диапазонов и потоков элементарных частиц.

Под термином "радиоволновая геоинтроскопия" (РВГИ) понимается исследование непрозрачной геологической среды (горных пород) в пространстве между скважинами с помощью электромагнитного излучения в диапазоне радиочастот 10^4 - 10^7 Гц (радиоволновое просвечивание), интенсивность которого измеряется в дальней зоне излучателя, с целью выявления подземных неоднородностей, к примеру залежей твердых полезных ископаемых, зон растепления многолетнемерзлых пород, карстовых полостей, а также их границ, размеров и формы.

В соответствии с фиг. 1а-1в, радиоволновое просвечивание межскважинного пространства проводят в скважинах 101 с использованием системы для радиоволнового просвечивания межскважинного пространства, состоящего из излучателя 102, приемника 103 и регистрирующей аппаратуры 104. При проведении просвечивания положение излучателя 102 и приемника 103 изменяют вдоль ствола скважины в зависимости от заданной глубины измерений L (фиг. 1б), поэтому схематически оба устройства представлены в нескольких положениях. На время исследований проводят обсадку стволов скважин 101 полиэтиленовыми трубами, которые по окончании исследований извлекают. Излучатель 102 погружают в одну из скважин 101, а приемник 103 - в другую с использованием каротажного кабеля. Для фиксации положений этих устройств в скважине может быть использована лебедка. В частности, излучатель может быть представлен дипольным излучателем.

По одному комплекту регистрирующей аппаратуры 104 располагают, к примеру, в непосредственной близости к каждой из скважин 101. Аппаратура 104 включает в себя ретранслятор и компьютер. В качестве линии связи для обмена цифровыми сигналами между излучателем 102 и аппаратурой 104 и между приемником 103 и аппаратурой 104 используют оптоволоконный кабель, один из выходов которого подключают к ретранслятору. Ретранслятор и компьютер могут быть связаны с использованием какого-либо известного средства, предназначенного для этой цели, к примеру кабеля с интерфейсом USB.

На первом этапе осуществления способа, как это представлено на фиг. 2, обеспечивают возможность проведения исследований 210 с использованием по меньшей мере трех скважин, расположенных по треугольной сети, на заданном расстоянии R между каждой парой скважин. В частном случае осуществления расстояния R между каждыми парами скважин являются практически равными, т.е. упомянутая треугольная сеть по своей форме предпочтительно принимает форму равностороннего треугольника. В другом частном случае осуществления скважины размещают в вершинах этого треугольника, дополнительные скважины - на его сторонах. Предельно допустимым отклонением расстояния между скважинами является $\delta R \leq \pm 0,15R$. В зависимости от требуемой точности измерений и/или площади месторожде-

ния сеть из скважин может представлять собой несколько равносторонних треугольников, имеющих по меньшей мере одну общую сторону с другим треугольником сети, как это показано на фиг. 3а, где скважины представлены позициями 301-307. На фиг. 3б представлен чертеж, иллюстрирующий такое расположение скважин 301-307 по треугольным сетям скважин и лучи просвечивания, образованные в ходе веерного просвечивания, при котором излучатель 102 и приемник 103 поочередно помещают в каждую из пар скважин.

На втором этапе проводят выбор рабочей частоты и размера антенн излучателя 220. Эти параметры выбирают таким образом, чтобы обеспечить необходимую дальность исследований и разрешающую способность, необходимую для надежного выделения неоднородностей в межскважинном пространстве. Предпочтительно, для того чтобы обеспечить наибольшую точность измерений, при выборе рабочей частоты излучателя и приемника расчетное значение диаметра зоны Френеля должно обеспечивать взаимное перекрытие исследованных областей пространства по смежным сечениям не менее чем на 20%.

На третьем этапе проводят радиоволновые просвечивания межскважинного пространства с заданным шагом измерения 230 с получением измерений значений осевой компоненты электромагнитного поля E_z на фиксированной рабочей частоте с регистрацией величины тока на антенне излучателя. На каждом шаге просвечивания выполняют настройку антенны излучателя в резонанс.

На каждом шаге просвечивания сначала погружают излучатель и приемник на определенную глубину в две разные скважины, затем выполняют настройку антенны излучателя в резонанс, затем регистрируют данные измерений. После выполнения первого шага просвечивания изменяют глубину погружения этих устройств относительно друг друга, повторно настраивают антенну излучателя в резонанс и регистрируют данные измерения. Данными измерений являются значение осевой компоненты электрического поля излучателя E_z , значения тока в антенне излучателя, значение активного сопротивления на входе антенны излучателя.

В предпочтительном варианте осуществления радиоволновое просвечивание проводят по веерной (томографической) схеме, при которой приемник осуществляет регистрацию измерений вдоль ствола одной из скважин с заданным количеством последовательных стоянок при зафиксированном первом положении излучателя в другой скважине. Затем излучатель погружают в скважину на следующее зафиксированное положение, и приемник повторно осуществляет регистрацию измерений. Также следует отметить, что измерения могут быть осуществлены при перемещении излучателя и приемника вдоль ствола скважины как сверху вниз, так и в противоположном направлении. В результате получают набор сечений просвечивания, выполненных под разными углами и разных плоскостях.

После получения всех данных измерения приводят значения осевой компоненты электрического поля к одному значению тока в антенне излучателя 240.

Перед обработкой данных измерения, зарегистрированных в ходе проведения просвечиваний, все пространство месторождения математически разбивается на элементарные ячейки заданного размера 250. Целью упомянутой обработки данных является определение удельного электрического сопротивления (ρ) и в частных случаях диэлектрической проницаемости (ϵ). Обработка данных, получаемых в ходе просвечивания межскважинного пространства под разными углами полем дипольного излучателя, позволяет определять электрические свойства грунтов в естественном залегании и их распределение в изучаемом объеме среды.

Известно, что на распространение электромагнитной волны влияют не только породы, лежащие непосредственно на линии излучатель - приемник, но и породы, лежащие в стороне, в пределах зоны существенной для распространения радиоволн (зоны Френеля). При каждом положении излучателя и приемника измеренное значение поля определяется эффективным сопротивлением всех ячеек, расположенных в этой зоне. Вклад ячеек в измеренное поле неодинаков. Ясно, что низкоомный объект, находящийся на оси зоны Френеля сильнее ослабляет поле по сравнению с объектом, находящимся на ее периферии.

Параметры указанной ячейки устанавливают таким образом, чтобы сохранялось их геометрическое подобие геометрическим параметрам исследуемого межскважинного пространства, с учетом диаметра зоны Френеля d_f . К примеру, если исследуемое пространство представляет собой параллелепипед, то элементарная ячейка также будет представлять собой параллелепипед пропорционально меньшего размера.

Теперь более подробно обратимся к этапу обработки данных измерений по всем полученным сечениям радиоволнового просвечивания 260. Каждый луч просвечивания характеризуется значением эффективного электрического сопротивления, рассчитанным из кажущегося коэффициента поглощения. Зная геометрию установки и параметры излучателя, из измеренного поля определяют кажущийся коэффициент поглощения. Каждая ячейка может оказывать влияние на несколько лучей. Расчет значения удельного электрического сопротивления $\rho_{эф}$ для каждой элементарной ячейки исследуемого пространства ведут по формуле

$$\bar{\rho}_{эф} = \frac{\sum_i \rho_i \omega_i}{\sum_i \omega_i},$$

где ρ_i - кажущееся электрическое сопротивление;

ω_i - вес ячейки i -го луча.

В результате создается трехмерная объемная геоэлектрическая карта межскважинного пространства. Схематически интерполяция данных измерения приведения на фиг. 3, где позициями 401-403 обозначены точки излучения и приема, 404-406 - лучи просвечивания, 407-409 - проекция зоны Френеля на горизонтальную плоскость, 410 - одна из элементарных ячеек пространства.

По итогам обработки данных измерения строят объемную геоэлектрическую карту с выделением участков, содержащих геологическую неоднородность. На этих участках при необходимости проводят более детальные исследования с бурением контрольных скважин и радиоволновыми просвечиваниями на максимально высокой частоте.

При необходимости по окончании исследований в отдельных скважинах полиэтиленовые трубы не удаляются, и эти скважины используются как контрольные для осуществления режимных наблюдений (мониторинга) за состоянием грунтов. Кроме этого, в скважинах может быть проведен комплекс каротажа, отбор и исследование образцов.

Пример 1. Поиск субвертикальных кимберлитовых тел (алмазоносных "трубок"), перекрытых с поверхности мощной толщей терригенных пород и долеритов, по редкой сети бурения (фиг. 5а-5г).

Съемка РВГИ проведена по площади месторождения по сети при среднем расстоянии между поисковыми скважинами 450 м. По измеренным данным просвечивания по сечениям между скважинами построена 3D геоэлектрическая карта представлена на фиг. 5а-5г.

На 3D карте отчетливо выделяется область измененных пород пониженного электрического сопротивления, включающая искомое кимберлитовое тело низкого сопротивления. Остальная часть площади (82%) гарантированно "безрудная".

На фиг 5а представлено горизонтальное сечение 3D карты радиоволновой геоинтроскопии в изолиниях значений эффективного сопротивления.

На фиг. 5б представлены вертикальные сечения 3D карты радиоволновой геоинтроскопии по линиям I-I и II-II в изолиниях значений эффективного сопротивления: светлый цвет - неизменные карбонатные породы; более темный - измененные магматическими и метаморфическими процессами породы, вмещающие кимберлитовое тело; темный - собственно "трубка" кимберлита.

На фиг. 5в представлена схема сечений радиоволнового просвечивания с проекцией зон Френеля, где позициями 501-503 выделены те из скважин, которые образуют одну из треугольных сетей скважин, 504 - одна из проекций зоны Френеля.

На фиг. 5г представлен фрагмент 3D карты радиоволновой геоинтроскопии в виде изоповерхностей с фиксированными значениями эффективного сопротивления, характеризующие контур собственно кимберлитовой трубки ($\rho=111$ Ом·м) и контур области измененных пород ($\rho=333$ Ом·м).

Пример 2. Инженерно-геологические изыскания под строительство высотного здания.

Радиоволновая геоинтроскопия межскважинного пространства выполнена с целью изучения геологического строения горизонтально слоистого разреза и оценки однородности грунтов на глубоких горизонтах. Измерения проведены на частоте 625 кГц на расстоянии 25 м по гексагональной сети скважин, обсаженных полиэтиленовыми трубами.

Результаты радиоволновой геоинтроскопии представлены в виде погоризонтного плана и геоэлектрического разреза 3D-геоэлектрической карты. На фиг. 6 изображен горизонтальный срез 3D-карты на уровне нижнего горизонта известняков, на который вынесена и линия геоэлектрического разреза. На западе участка выделяется зона пониженных сопротивлений, причем основная ее часть расположена на северо-западе. Эта закономерность прослеживается и на вертикальных разрезах. На фигуре представлен геоэлектрический разрез по линии скважин, на котором ярко выражен нижний горизонт известняков.

По данным радиоволновой геоинтроскопии на нижнем горизонте в северо-западной части участка выделена и оконтурена область высокотрещиноватых известняков пониженной прочности. Важно, что эту зону удалось локализовать только по данным РВГИ, так как она не подсечена скважинами и основная ее часть находится между скважинами 3 и 7.

На фиг. 6а представлено горизонтальное сечение 3D карты радиоволновой геоинтроскопии в изолиниях значений эффективного сопротивления.

На фиг. 6б представлены вертикальные сечения 3D карты радиоволновой геоинтроскопии по линии скважин 601-602-603 в изолиниях значений эффективного сопротивления: светлый цвет - неизменные известняки; более темный - измененные трещиноватые глинистые известняки пониженной прочности; темный - перекрывающие и подстилающие глины и алевролиты.

На фиг. 6в представлена схема сечений просвечивания РВГИ с проекцией зон Френеля.

На фиг. 6г представлен фрагмент 3D карты радиоволновой геоинтроскопии геологического строения горизонтально слоистого разреза.

Список использованных источников

1. Истратов В.А. Межскважинные геофизические исследования//Большая Российская энциклопедия. - М.: 2011, том 19, с. 575-57.
2. Руководство по радиоволновым методам скважинной и шахтной геофизики/Под ред.

А.Д. Петровского и А.А. Попова. М.: "Недра", 1997.

3. Борисов Б.Ф., Гуревич Г.Ф., Чигирин И.И. "Радиопросвечивание в анизотропных средах при редкой сети бурения". М.: Труды ЦНИГРИ, 1981, вып. 161, с. 90-96.

4. Борисов Б.Ф., Истратов В.А., Лысов М.Г. Способ радиоволнового межскважинного просвечивания//Патент России № 2084930 от 22.07.93.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ объемной радиоволновой геоинтроскопии горных пород в межскважинном пространстве, в котором

обеспечивают возможность проведения радиоволновых просвечиваний межскважинного пространства излучателем и приемником с использованием по меньшей мере трех скважин, расположенных в узлах треугольной сети;

осуществляют выбор оптимальной рабочей частоты излучателя и приемника в соответствии с расчетным значением диаметра зоны Френеля при заданном расстоянии между излучателем и приемником и заданном среднем значении удельного электрического сопротивления горных пород;

проводят радиоволновые просвечивания пространства между каждой парой скважин излучателем и приемником по веерной схеме с заданным шагом просвечивания, при этом на каждом шаге просвечивания проводят настройку антенны излучателя в резонанс, регистрируют данные измерений, включающие значения осевой компоненты электрического поля на приемнике, значения тока на антенне излучателя и значения активного сопротивления на ее выходе;

приводят все измеренные значения осевой компоненты электрического поля к одному значению тока в антенне излучателя;

осуществляют математическое разбиение межскважинного пространства на элементарные ячейки, форму и размеры которых определяют исходя из геометрии измерений и диаметра зоны Френеля;

проводят одновременную обработку данных измерения по всем сечениям радиоволнового просвечивания с вычислением значений эффективного электрического сопротивления каждой элементарной ячейки;

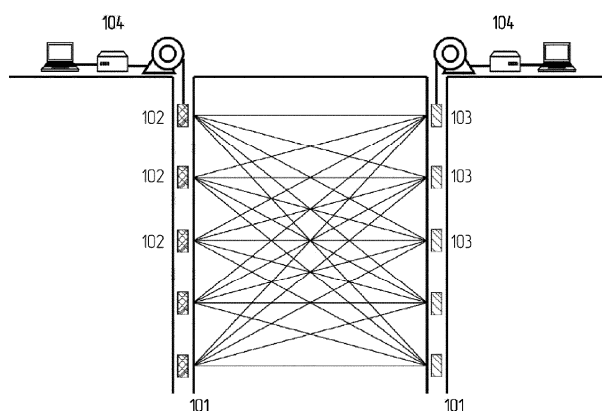
по итогам обработки данных измерений строят объемную геоэлектрическую карту исследованного межскважинного пространства, представляющую собой трехмерную матрицу по трем координатам элементарных ячеек в пространстве и значению удельного электрического сопротивления каждой такой ячейки.

2. Способ по п.1, в котором излучатель представлен дипольным излучателем.

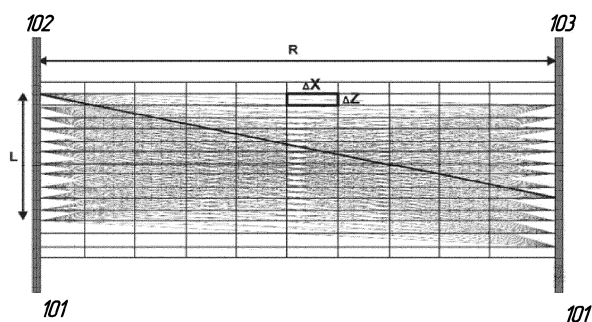
3. Способ по п.1, в котором заданные расстояния R между любыми парами скважин, расположенных в узлах треугольной сети, являются практически равными.

4. Способ по п.1, в котором заданные расстояния R между скважинами характеризуются предельно допустимым отклонением $\delta R \leq \pm 0,15R$.

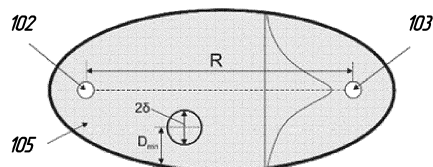
5. Способ по п.1, в котором при выборе рабочей частоты излучателя и приемника расчетное значение диаметра зоны Френеля обеспечивает взаимное перекрытие исследованных областей пространства по смежным сечениям не менее чем на 20%.



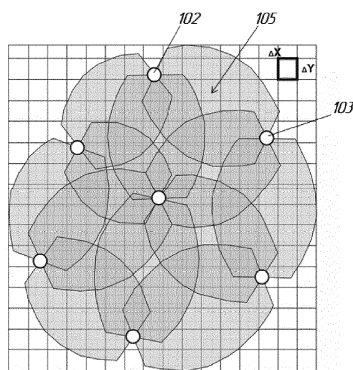
Фиг. 1а



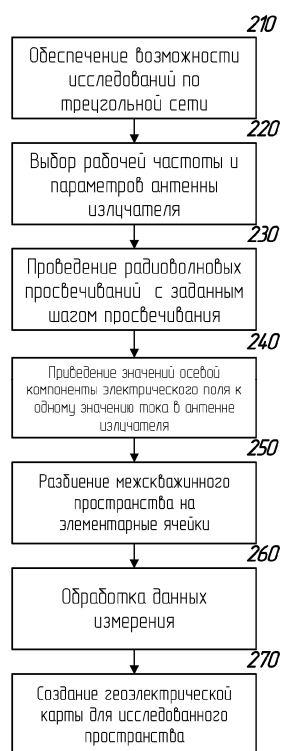
Фиг. 16



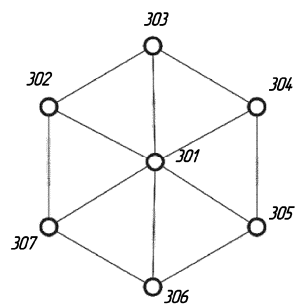
Фиг. 1в



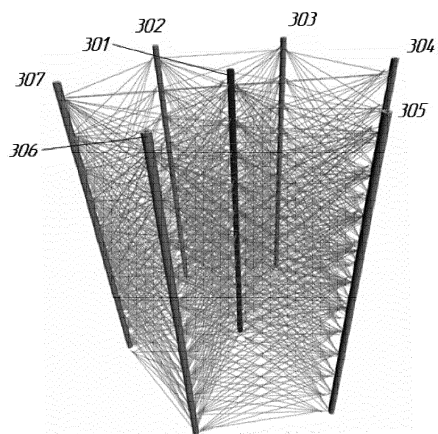
Фиг. 1г



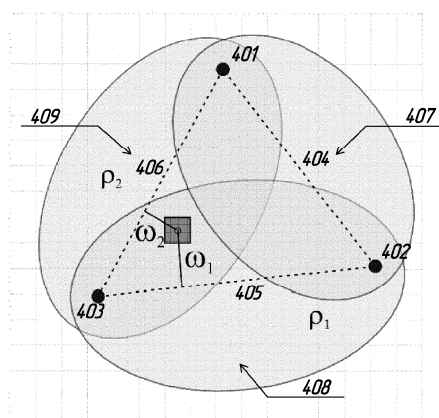
Фиг. 2



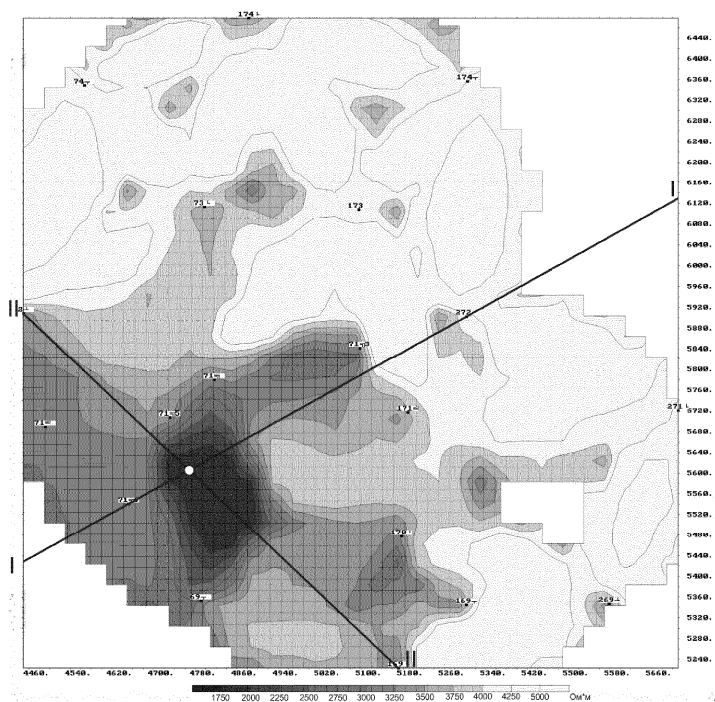
Фиг. 3а



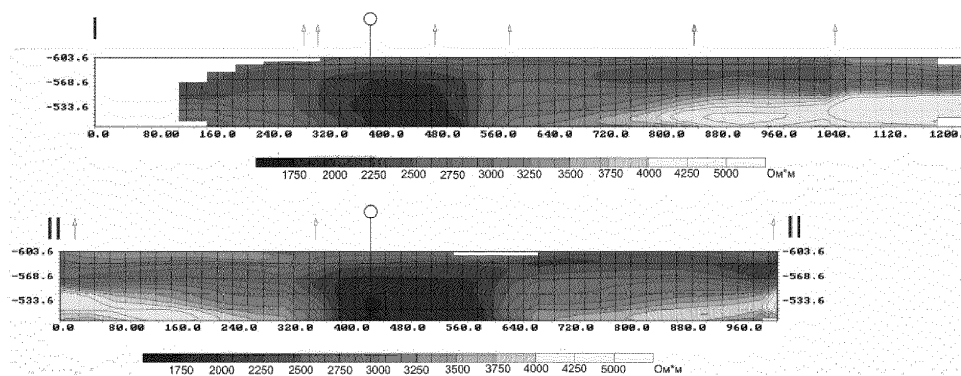
ФИГ. 36



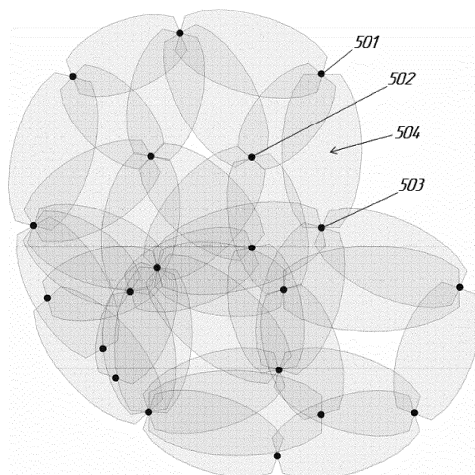
ФИГ. 4



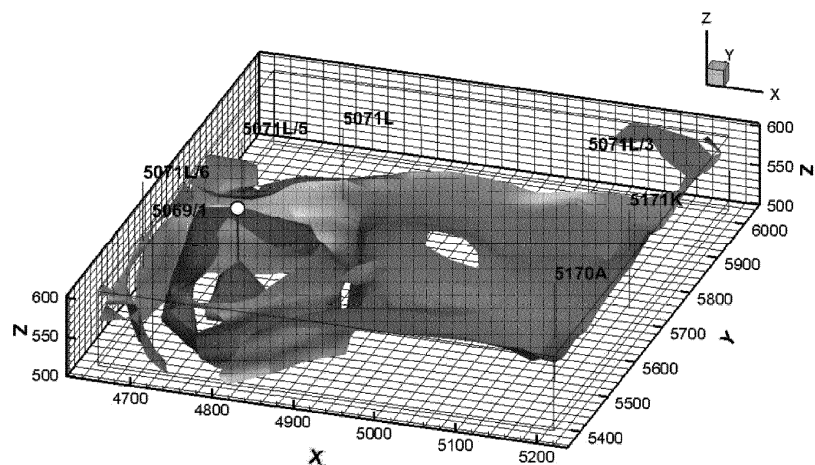
Фиг. 5а



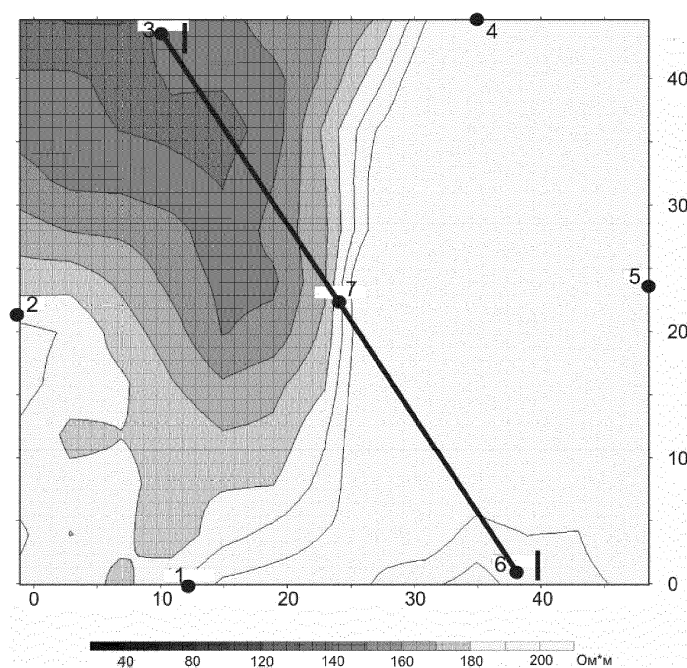
Фиг. 5б



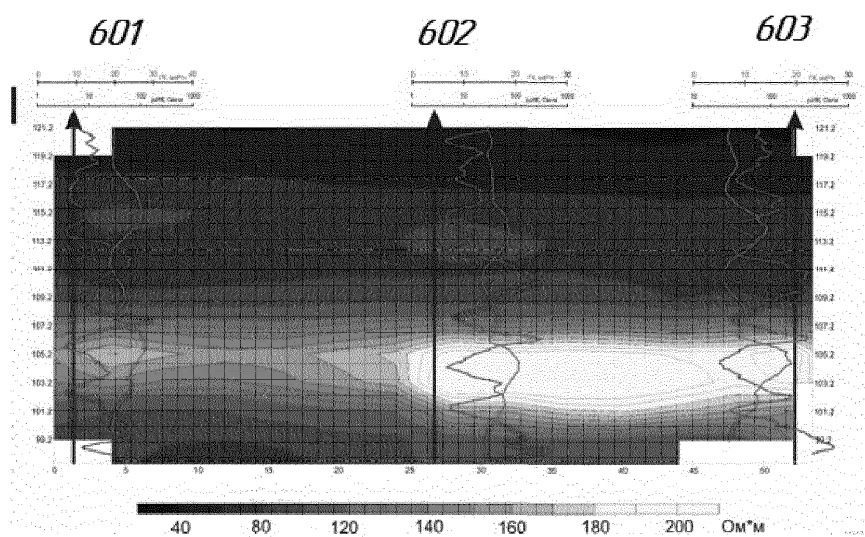
Фиг. 5в



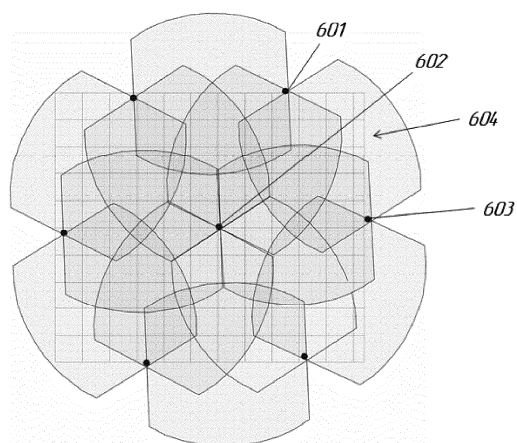
Фиг. 5Г



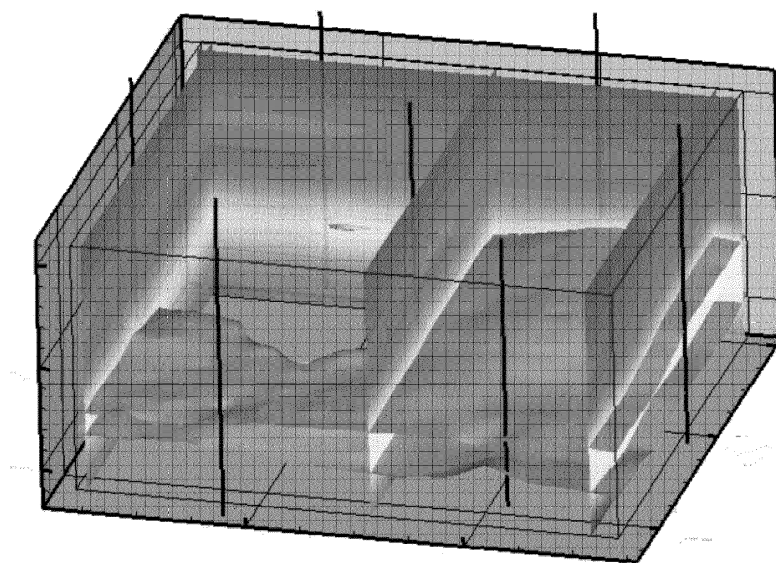
Фиг. 6а



Фиг. 6б



Фиг. 6в



Фиг. 6г

