



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2013116920/28, 12.04.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
12.04.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.04.2013

(45) Опубликовано: 27.08.2014 Бюл. № 24

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2119180 C1, 20.09.1998, . RU 2361248 C2, 10.07.2009, . RU 2260822 C1, 20.09.2005, . RU 2251716 C1, 10.05.2005, . US 6462549 B1, 08.10.2002, . RU 2433425 C2, 10.11.2011

Адрес для переписки:

630091, г.Новосибирск, Красный пр-кт, 67,  
Федеральное Государственное Унитарное  
предприятие Сибирский научно-  
исследовательский институт геологии,  
геофизики и минерального сырья

(72) Автор(ы):

**Филатов Владимир Викторович (RU),  
Тригубович Георгий Михайлович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

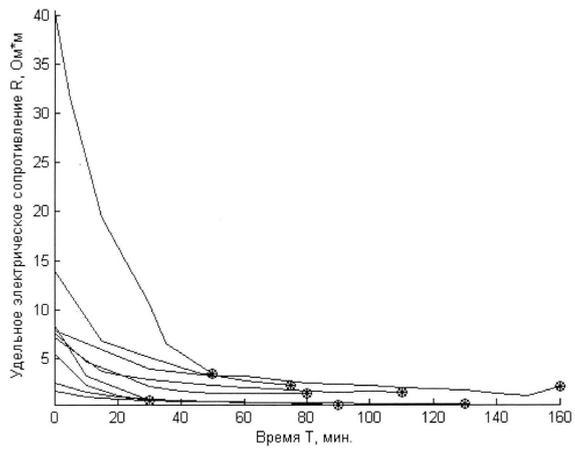
**Федеральное Государственное Унитарное  
предприятие "Сибирский научно-  
исследовательский институт геологии,  
геофизики и минерального сырья" (RU)**

**(54) СПОСОБ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области геофизики и может быть использовано, в частности, для обнаружения залежей углеводородов. Заявлен способ геофизической разведки залежей углеводородов, включающий возбуждение упругих колебаний в процессе многократного возбуждения электромагнитного поля. Измерения электромагнитного поля осуществляют во множестве точек в окрестности источника электромагнитного поля до, во время и после упругого воздействия. По совокупности полученных данных строят последовательность

геоэлектрических разрезов, в которых отражают релаксацию удельного электрического сопротивления, обусловленную упругим воздействием. По совокупным данным строят 3D отображение участка опоискования, с выделением в разрезе аномальных зон с релаксацией сопротивления. По величине аномального эффекта и характеру указанной релаксации судят о наличии и свойствах залежей углеводородов. Технический результат - повышение точности разведочных данных. 7 ил.



\* - конец процесса релаксации

Фиг.3

R U 2 5 2 7 3 2 2 C 1

R U 2 5 2 7 3 2 2 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013116920/28, 12.04.2013

(24) Effective date for property rights:  
12.04.2013

Priority:

(22) Date of filing: 12.04.2013

(45) Date of publication: 27.08.2014 Bull. № 24

Mail address:

630091, g.Novosibirsk, Krasnyj pr-kt, 67, Federal'noe Gosudarstvennoe Unitarnoe predpriyatje Sibirskij nauchno-issledovatel'skij institut geologii, geofiziki i mineral'nogo syr'ja

(72) Inventor(s):

Filatov Vladimir Viktorovich (RU),  
Trigubovich Georgij Mikhajlovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe Gosudarstvennoe Unitarnoe predpriyatje "Sibirskij nauchno-issledovatel'skij institut geologii, geofiziki i mineral'nogo syr'ja" (RU)

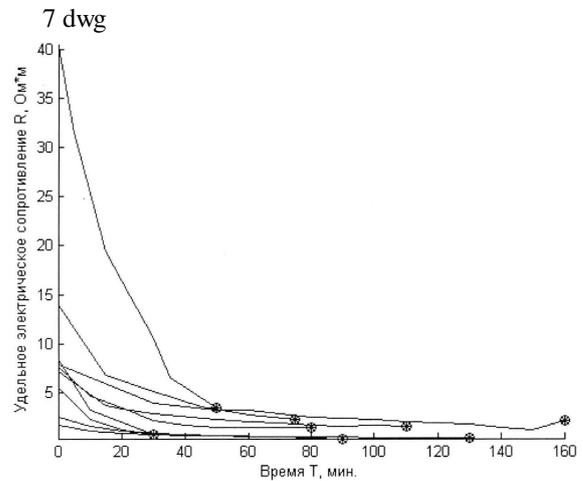
(54) **METHOD FOR GEOPHYSICAL EXPLORATION OF HYDROCARBON DEPOSITS**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: method for geophysical exploration of hydrocarbon deposits includes exciting elastic vibrations during repeated excitation of an electromagnetic field; measuring the electromagnetic field at multiple points in the vicinity of an electromagnetic field source before, during and after elastic excitation; using the obtained data to construct a series of geoelectric sections reflecting the relaxation of resistivity caused by elastic action; using the data to construct a 3D image of a prospecting area, while selecting anomalous zones with resistance relaxation in the section; determining presence and properties of hydrocarbon deposits from the value of the anomalous effect and nature of said relaxation.

EFFECT: high accuracy of exploration data.



\* - конец процесса релаксации

Фиг.3

C 1  
2 2  
2 2  
7 3  
2 5  
2 2  
R U

R U  
2 5 2 7 3 2 2  
C 1

Изобретение относится к области геофизической разведки месторождений полезных ископаемых и может быть использовано, в частности, для обнаружения залежей углеводородов.

Известен способ геофизической разведки залежей углеводородов, включающий возбуждение упругих (сейсмических) колебаний сеймовиброисточником, регистрацию сейсмических колебаний сейсмоприемниками, перемещение сеймовиброисточников вдоль профиля в промежутках между возбуждением сейсмических колебаний и возбуждением электрического поля в зоне профиля одновременно с возбуждением сейсмических колебаний (патент РФ №2260822, G01V 11/00). При этом электрическое поле возбуждают посредством, по меньшей мере, двух электродов, располагаемых вдоль профиля на расстоянии друг от друга, соизмеримом с глубиной залегания предполагаемой залежи углеводородов, регистрацию сейсмических колебаний при каждом фиксированном положении виброисточников и сейсмоприемников проводят, по меньшей мере, один раз при подаче электрического тока на питающие электроды и, по меньшей мере, один раз при отсутствии электрического питания на электродах. Далее формируют разность сейсмических записей, полученных при возбуждении электрического поля и без возбуждения электрического поля, или сейсмических разрезов, полученных из записей путем их преобразования в изображение сейсмического разреза. По изменению амплитуд отраженных волн сейсмического и сейсмоэлектрического полей, а также по их разности судят о присутствии аномальных явлений, обусловленных наличием залежи углеводородов.

Кроме того, согласно данному способу дополнительно одновременно с сейсмическими колебаниями регистрируют с использованием петель или измерительных диполей, расположенных вдоль профиля с шагом, соизмеримым с шагом между сейсмоприемниками, величину электрического поля, вычисляют изменения амплитудных характеристик, которые учитывают при вынесении суждения о наличии аномальных явлений, обусловленных наличием залежи углеводородов. К недостаткам данного способа следует отнести тот факт, что он базируется на изучении электросейсмического эффекта, то есть в основе способа лежит метод сейсморазведки, который далеко не всегда позволяет локализовать источник аномалии (залежь) в сложнопостроенной среде с карбонатными коллекторами.

Известен также способ геофизической разведки (патент РФ №2119180, G01V 11/00, прототип), характеризующийся проведением электроразведки и сейсморазведки (то есть, возбуждением упругих колебаний и электромагнитного поля и измерением соответствующих откликов) на совмещенных профилях непрерывным профилированием с применением источников электрического поля и интерференционных источников упругих колебаний. При реализации способа формируют систему инициирования и управления механоэлектрическими процессами в гетерогенной геологической среде путем одновременного воздействия на указанную среду источниками электрического поля и источниками упругих волн с интенсивностью, превышающей естественный фон помех. Для этого предварительно перед наблюдением по профилям на различных участках площади экспериментально определяют оптимальные параметры системы инициирования, при которых механоэлектрические процессы обладают максимальной интенсивностью и надежностью выделения электрических и упругих сигналов, определяют график изменения процесса релаксации среды во времени после одновременного выключения источников системы инициирования. По закономерностям изменения напряженности инициирования электрического поля определяют значение суммарного времени релаксации  $t_{\text{рел}}$  для выполнения наблюдений электроразведкой и

сейсморазведкой. При этом различия значений напряженности инициированного механоэлектрическими процессами электрического поля, зарегистрированные в момент выключения источников в системе и соответствующих экстремуму графика, и значений суммарного времени релаксации  $t_{\text{рел}}$  выполнения наблюдений сейсморазведкой и

5 электроразведкой не должны превышать заданной точности измерений. Затем определяют оптимальные параметры источников для выполнения наблюдений электроразведкой и сейсморазведкой с инициированными механоэлектрическими процессами и выполняют наблюдения по профилям путем воздействия на среду инициирующей системой. По завершении цикла инициирования одновременно  
10 выключают источники электрического и упругого полей на одном и том же интервале профиля, размещенном симметрично относительно центра в пределах инициирования. Последовательно выполняют наблюдения электроразведкой и затем сейсморазведкой, при этом суммарное время наблюдений не превышает времени релаксации  $t_{\text{рел}}$ ,  
15 определенного по графику изменения релаксации среды, после завершения наблюдений сейсморазведкой систему инициирования перемещают на длину интервала наблюдений электроразведкой и сейсморазведкой и цикл наблюдений повторяют.

Недостатком способа является высокая стоимость работ, требующих применения двух методов: сейсморазведки и электроразведки, сложность реализации, а также  
20 недостаточная точность интерпретации в случае наличия сложно построенной среды и карбонатных коллекторов. В этом случае данные сейсморазведки могут оказаться недостоверными, а профильных данных электроразведки при электрическом возбуждении недостаточно для определения параметров сложно построенной среды.

Задача изобретения - повышение эффективности поисковых работ в сложно построенных средах, включающих трещиноватые карбонатные коллекторы.

25 Технический результат, получаемый при реализации предложенного способа, состоит в создании новой технологии сейсмозлектрических работ, базирующейся на использовании площадных многоразносных зондирований становлением поля и детальном мониторинге релаксации удельного сопротивления разреза в процессе сейсмозлектрических работ.

30 Указанный технический результат достигается тем, что в способе геофизической разведки залежей углеводородов, включающем воздействие на исследуемую среду источником электромагнитного поля и источником упругих колебаний, регистрацию электромагнитного поля, перемещение источника электромагнитного поля по  
35 исследуемой площади, выделение сейсмозлектрического эффекта при каждом положении источника электромагнитного поля, согласно изобретению возбуждение упругих колебаний осуществляют в процессе многократного возбуждения электромагнитного поля, а измерения электромагнитного поля осуществляют во множестве точек в окрестности источника электромагнитного поля до, во время и после упругого  
40 воздействия, по совокупности полученных данных строят последовательность геоэлектрических разрезов, в которых отражают релаксацию удельного электрического сопротивления, обусловленную упругим воздействием, по совокупным данным строят 3D отображение участка опосредования, с выделением в разрезе аномальных зон с релаксацией сопротивления, и по величине аномального эффекта и характеру указанной  
45 релаксации судят о наличии и свойствах залежей углеводородов.

На фиг. 1 показаны схемы проведения многоразносных зондирований, а - по площади, б - по профилю с рассечками, где 1 - генераторная петля, 2 - датчики электромагнитного поля, 3 - общая точка измерения для двух положений генераторной петли 1, 4 - источник упругого воздействия.

Фиг.2 иллюстрирует проявление сейсмоэлектрического эффекта первого рода: а - на образце трещиноватого карбонатного коллектора, б - на образце, не обладающем трещиноватостью (Юрубчен).

На фиг.3 показаны графики, иллюстрирующие процесс релаксации удельного сопротивления под влиянием упругого воздействия на различных образцах керна карбонатных пород, извлеченных с одной площади.

На фиг.4 приведены результаты оценки сходимости модельной задачи формирования прогнозного параметра для определения трещиноватости образцов по кривым релаксации удельного сопротивления (фиг.4а) в сравнении с аналогичной оценкой сходимости по амплитуде сейсмоэлектрического эффекта (фиг.4б).

Фиг.5 демонстрирует модельный разрез с неоднородной ВЧР, характерный для Восточной Сибири.

На фиг.6 приведены результаты выделения в модельном разрезе (фиг.5) аномальных объектов с релаксацией удельного сопротивления на модельной площади при стандартных профильных наблюдениях и 1D интерпретации данных (аналогично прототипу).

Фиг 7 - то же, согласно изобретению, при площадных многоразносных наблюдениях и 3D интерпретации данных.

Ниже приведены предпосылки создания способа, согласно изобретению.

По результатам многочисленных экспериментальных исследований известна сейсмоэлектрическая активность как образцов горных пород, так и отдельных зон в районах известных месторождений углеводородов. При этом выявлено, что проявление сейсмоэлектрического эффекта первого рода (изменение и релаксация электрического сопротивления горных пород под влиянием упругого воздействия) связано с наличием микротрещин. То есть эффект активно проявляется в трещинных, в частности карбонатных коллекторах, и очень слабо отмечается в породах, не обладающих трещиноватостью. Пример измерения такого эффекта для таких случаев показан на фиг.2. На фиг.2а показано изменение сопротивления образца карбонатных пород до, в процессе и после упругого воздействия. Видно, что сопротивление образца уменьшилось более чем в два раза. На образце породы, не обладающей трещиноватостью, релаксация сопротивления которого показана на фиг.2б, сейсмоэлектрический эффект практически не отмечается. Наблюдаемое изменение сопротивления (менее 2%) связано с естественным высыханием образца. При этом измерялся эффект при различных взаимно перпендикулярных направлениях акустического поля (кривые 1 и 2, фиг.2б).

Кроме того, длительность и амплитуда процесса релаксации сопротивления во времени зависит от целого ряда факторов и может существенно меняться даже в пределах одного участка, как это показано фиг.3, где отображены процессы релаксации сопротивления различных образцов карбонатных пород, извлеченных на одном участке. Из приведенных кривых видно, что амплитуды изменения сопротивления в результате акустического воздействия различаются на порядок. То же самое можно сказать о длительности процесса релаксации. Это говорит о сложности определения параметров измерения сейсмоэлектрического эффекта на всем участке по результатам отдельных экспериментов, как это, в частности, предлагается в прототипе.

Авторами также установлено, что характер релаксации сопротивления под влиянием упругого воздействия описывается функцией  $\exp(at^\beta)$ , где  $a$  - определяет скорость релаксации и фактически величину сейсмоэлектрического эффекта, а  $\beta$  - характеризует структуру коллектора. То есть измерение процесса релаксации сопротивления позволит

решать задачу не только наличия коллектора, но и определения его структурных характеристик.

На фиг.4 показаны результаты исследования сходимости процесса формирования прогнозного параметра для определения трещиноватости образца.

5 Под прогнозным параметром будем понимать математическую комбинацию значений измеренных данных, позволяющую прогнозировать реальные петрофизические характеристики геологической среды. Или другими словами - установление некоторой корреляционной связи между такой комбинацией и соответствующей петрофизической характеристикой.

10 В результате моделирования показано, что если в качестве исходных данных для формирования прогнозного параметра используются кривые релаксации, процесс формирования прогнозного параметра сходится достаточно быстро и отклонение значений полученного параметра от исследуемой петрофизической характеристики не превышает 5% (фиг.4а). Если же в качестве исходных данных использовать только  
15 амплитуду сейсмoeлектрического эффекта, то сходимости практически не наблюдается (фиг.4б).

Таким образом, кроме измерения максимальной величины сейсмoeлектрического эффекта (разности амплитуд электрического поля до и после воздействия упругого  
20 воздействия), большой интерес представляет изучение параметров самого процесса релаксации сопротивления среды, характеристики которого тесно связаны со структурой среды. Это требует детального мониторинга удельного сопротивления разреза в процессе сейсмoeлектрических работ.

Осуществление указанного мониторинга составляет сущность данного технического решения.

25 Способ согласно изобретению реализуются в следующей последовательности операций.

На участке работ располагают систему площадных наблюдений. Реализоваться такая система может в различных модификациях (фиг.1) как площадная система, закрывающая с равным шагом всю площадь (фиг.1а), так и профильная система с  
30 рассечками (фиг.1б). При каждом расположении генераторной петли 1, сторона которой определяется глубиной исследований, проводят многократные зондирования методом многоразносных зондирований становлением поля (МЗСБ).

В процессе выполнения таких зондирований в центре генераторной петли 1 или в точке, расположенной в непосредственной близости от генераторной петли 1,  
35 дополнительно проводят возбуждение упругого поля с помощью источника упругих колебаний 4, например с помощью вибратора, в режиме, обеспечивающем минимальное влияние самого виброисточника 4 на электромагнитное поле генераторной петли 1.

Фиксируют датчиками 2 электромагнитного поля электромагнитный отклик на множестве точек, например, расположенных по профилю с рассечками (фиг.1б), на  
40 расстояниях до двух размеров генераторной петли 1 до, во время и после упругого воздействия.

По окончании процесса многократных зондирований, длительность которого определяется априорной информацией или регламентом работ, генераторная петля 1 и источник 4 упругого воздействия перемещаются на следующую точку и процесс  
45 измерений повторяется. Расстояние между соседними точками расположения генераторной петли 1 определяется глубиной зондирования и сложностью разреза, общая информация о котором, как правило, известна.

В качестве аппаратного комплекса для реализации МЗСБ может быть использована

многоканальная телеметрическая аппаратура «Импульс-Д», позволяющая проводить площадные работы с выносными датчиками.

В качестве источника сейсмических колебаний целесообразно использовать гидравлические сейсмические вибраторы, поскольку они позволяют управлять спектром генерируемых сейсмических колебаний. Работы проводят в режиме, например, с нелинейными свипами в полосе частот 10-100 Гц и длительностью порядка 30 с при усилиях на грунт в пределах 100-200 кН. Возможно использование и других вибрационных источников с характеристиками, отличными от приведенных выше. Использование взрывных технологий, как правило, не позволяет достичь оптимального эффекта.

Совокупность данных, получаемых при проведении работ по технологии согласно изобретению на участке, позволяет не только обнаружить сейсмоэлектрический эффект, но и, в том числе благодаря площадной системе наблюдений и 3D интерпретации, зафиксировать в разрезе конкретный объект, характеризующийся определенной релаксацией удельного сопротивления.

Предварительная обработка данных состоит в выделении сейсмоэлектрического эффекта при каждом положении генераторной петли 1.

Детальная обработка предусматривает 3D интерпретацию всех полученных на исследуемой площади данных и выделение в разрезе локальных объектов с релаксацией удельного сопротивления, а также изучение характера указанной релаксации, параметры которой связаны с литологией среды. По совокупности полученной информации судят о наличии в разрезе залежей углеводородов.

Ниже приведен модельный пример реализации способа.

Рассмотрена модель среды с типичной для Восточной Сибири неоднородной ВЧР, существенно осложняющей сейсмические работы (фиг.5). На глубине восьмисот метров расположен целевой горизонт, в котором расположен карбонатный коллектор с параметрами, типичными для карбонатных пород, выявленными авторами в ходе петрофизических исследований и физического моделирования. В процессе моделирования было выяснено, что в большинстве образцов трещиноватых карбонатных пород сейсмоэлектрический эффект превышает величину 20%. Эта величина и была положена в основу расчетов. Моделирование измерений проводилось по схеме, показанной на фиг.1б.

На фиг.6, 7 показаны результаты выделения (по измеренному электромагнитному полю) на различных этапах мониторинга аномальных объектов, фиксируемых в разрезе в процессе релаксации сопротивления, обусловленной упругим воздействием.

При этом на фиг.6 приведены результаты выделения в разрезе аномальных объектов на временах, когда удельное сопротивление коллектора менялось на 5, 10 и 20 процентов при стандартных профильных наблюдениях, а фиг.7 демонстрирует результаты 3D интерпретации данных измерения на тех же этапах мониторинга при площадных наблюдениях согласно изобретению.

Из сравнения видно, что по результатам профильных наблюдений и 1D инверсии релаксирующий объект (коллектор) восстанавливается с достаточно существенными отличиями по глубине, геометрии и сопротивлению. Исходной объект располагается на глубине 800-1000 м, по 1D инверсии проводящая зона поднимается на глубину 700 м и сильно растягивается по профилю (фиг.6а, 6в). По результатам 3D интерпретации (фиг.7) четко определяется глубина и геометрия зоны изменения сопротивления, позволяя не только зафиксировать объект с аномальными механоэлектрическими свойствами, но и локализовать его в разрезе, определив реальные изменения его сопротивления в

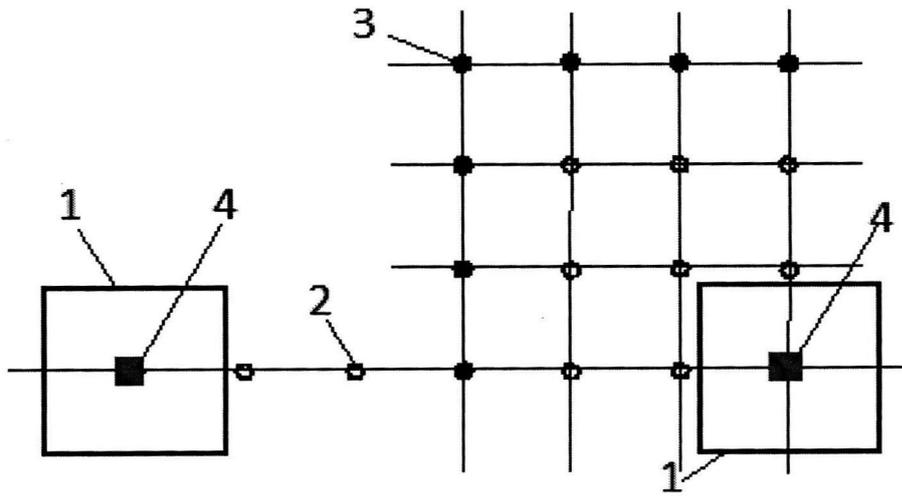
результате упругого воздействия.

Полученные объекты могут быть дополнительно разбракованы за счет отличия в характере процессов релаксации. Такие отличия, обусловленные литологическими особенностями среды, отчетливо видны на фиг.3. При этом, как видно из фиг.4, мониторинг процесса релаксации удельного сопротивления позволяет не просто зафиксировать указанные отличия, но и установить корреляционные связи между параметрами релаксации и петрофизическими характеристиками коллектора, что в совокупности с информацией о реальном сопротивлении коллектора позволяет судить о его возможной нефтенасыщенности.

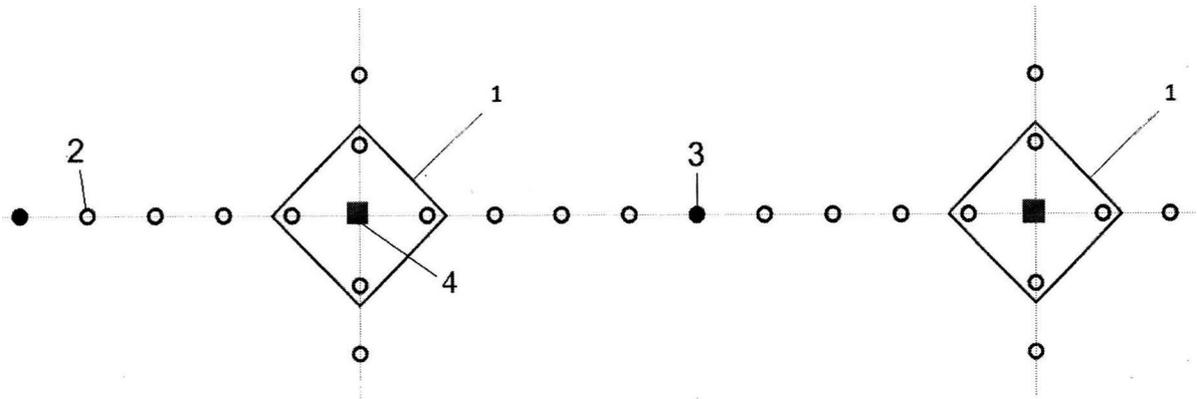
Таким образом, применение предлагаемого способа, включающего совокупность существенных признаков, согласно формуле изобретения позволяет повысить надежность и эффективность прогноза залежей углеводородов в сложно построенных карбонатных породах.

#### Формула изобретения

Способ геофизической разведки залежей углеводородов, включающий воздействие на исследуемую среду источником электромагнитного поля и источником упругих колебаний, регистрацию электромагнитного поля, перемещение источника электромагнитного поля по исследуемой площади, выделение сейсмоэлектрического эффекта при каждом положении источника электромагнитного поля, отличающийся тем, что возбуждение упругих колебаний осуществляют в процессе многократного возбуждения электромагнитного поля, а измерения электромагнитного поля осуществляют во множестве точек в окрестности источника электромагнитного поля до, во время и после упругого воздействия, по совокупности полученных данных строят последовательность геоэлектрических разрезов, в которых отражают релаксацию удельного электрического сопротивления, обусловленную упругим воздействием, по совокупным данным строят 3D отображение участка опоискования, с выделением в разрезе аномальных зон с релаксацией сопротивления, по величине аномального эффекта и характеру указанной релаксации судят о наличии и свойствах залежей углеводородов.

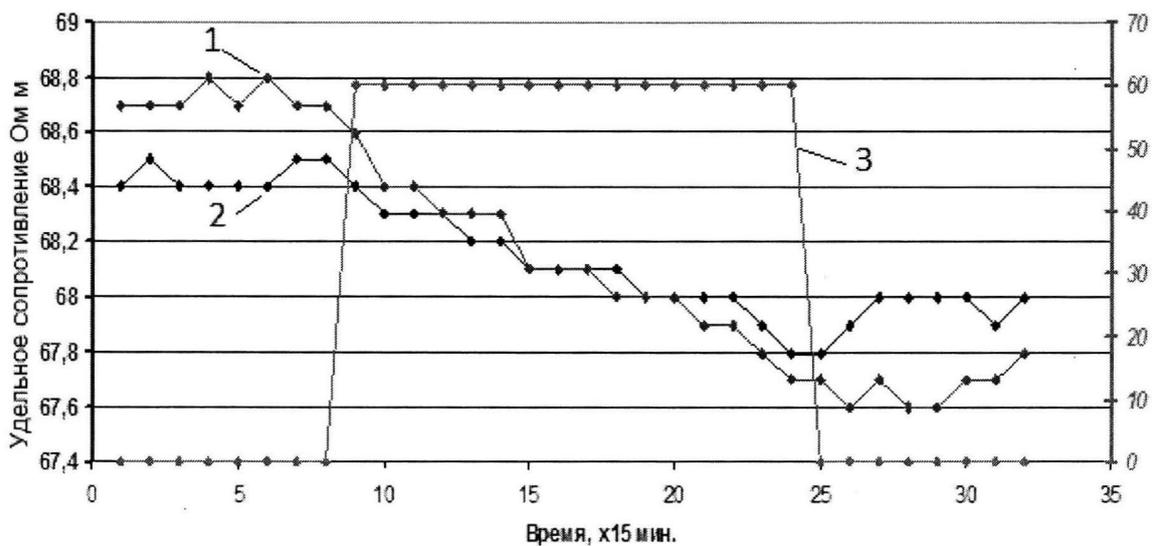
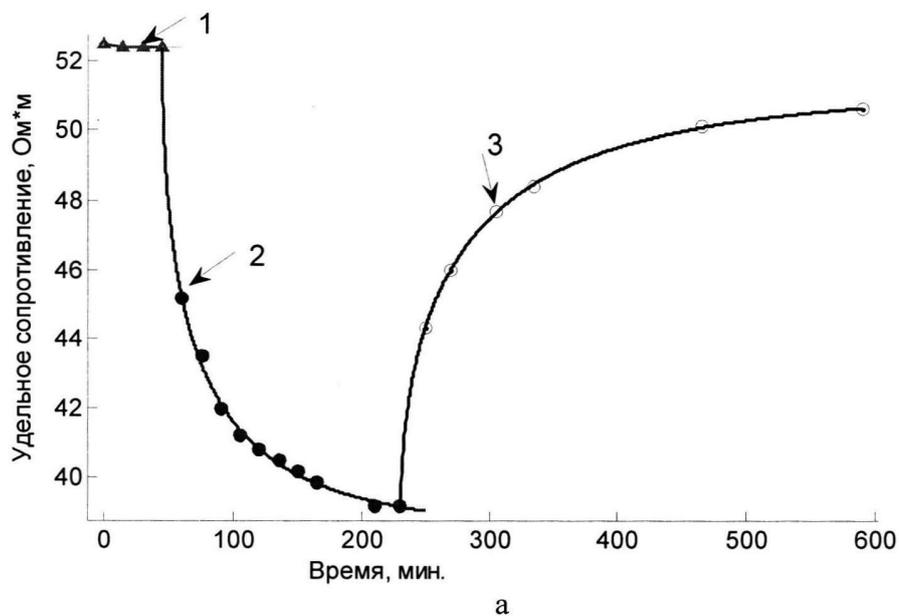


а



б

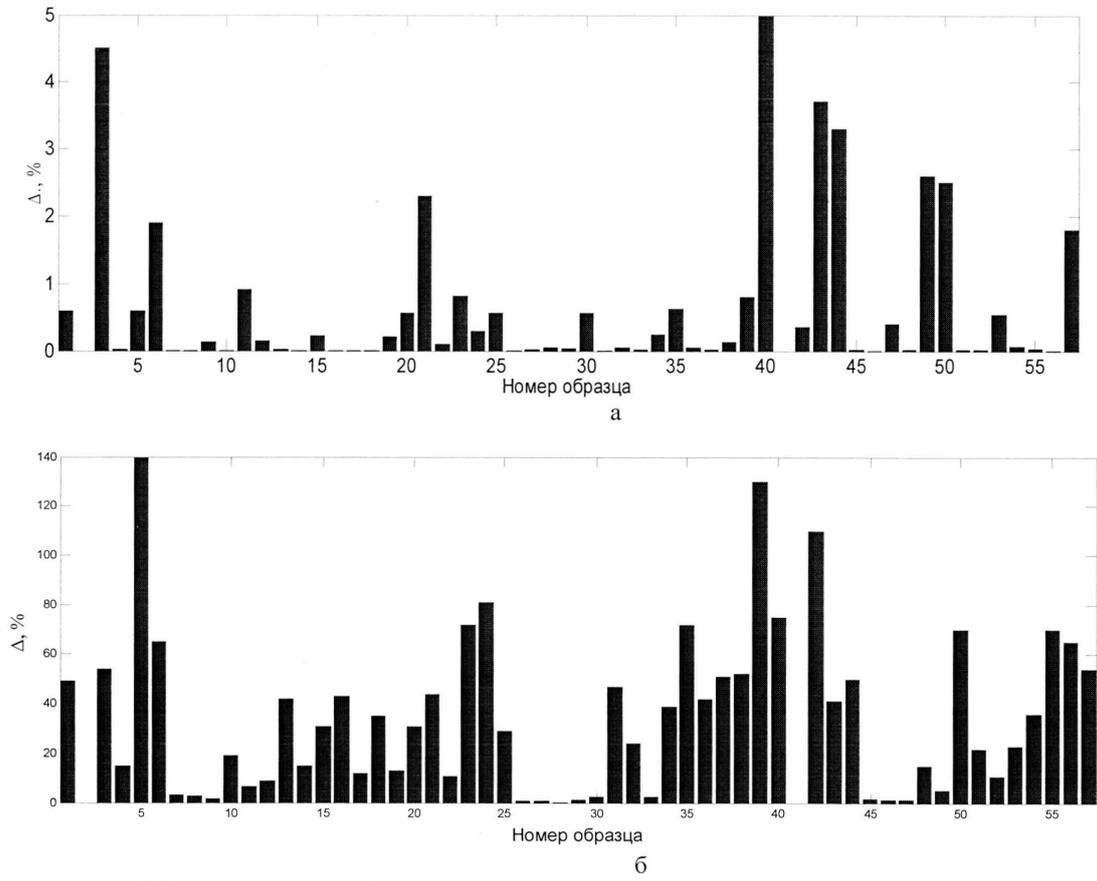
Фиг.1



а - проявление сейсмоэлектрического эффекта первого рода на образце трещиноватого карбонатного коллектора, где 1-удельное сопротивление до начала упругого воздействия, 2 – удельное сопротивление в процессе упругого воздействия, 3 – удельное сопротивление после упругого воздействия;

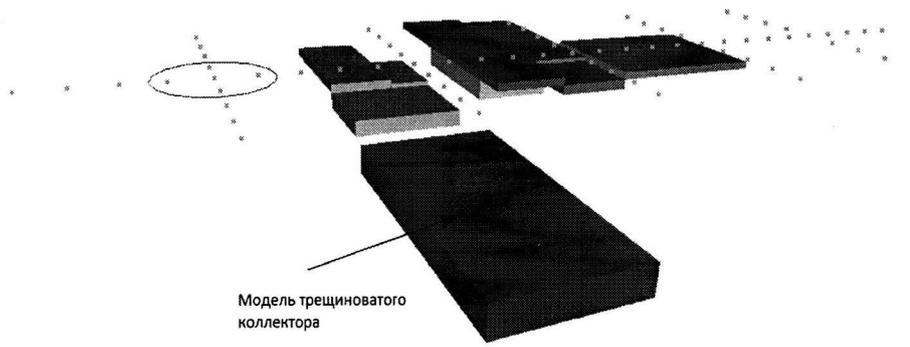
б - проявление сейсмоэлектрического эффекта первого рода на образце, не обладающем трещиноватостью, где кривые 1, 2- удельное сопротивление на образце при воздействии упругой нагрузки в двух взаимно перпендикулярных направлениях; 3 – нагрузка на образец.

Фиг.2

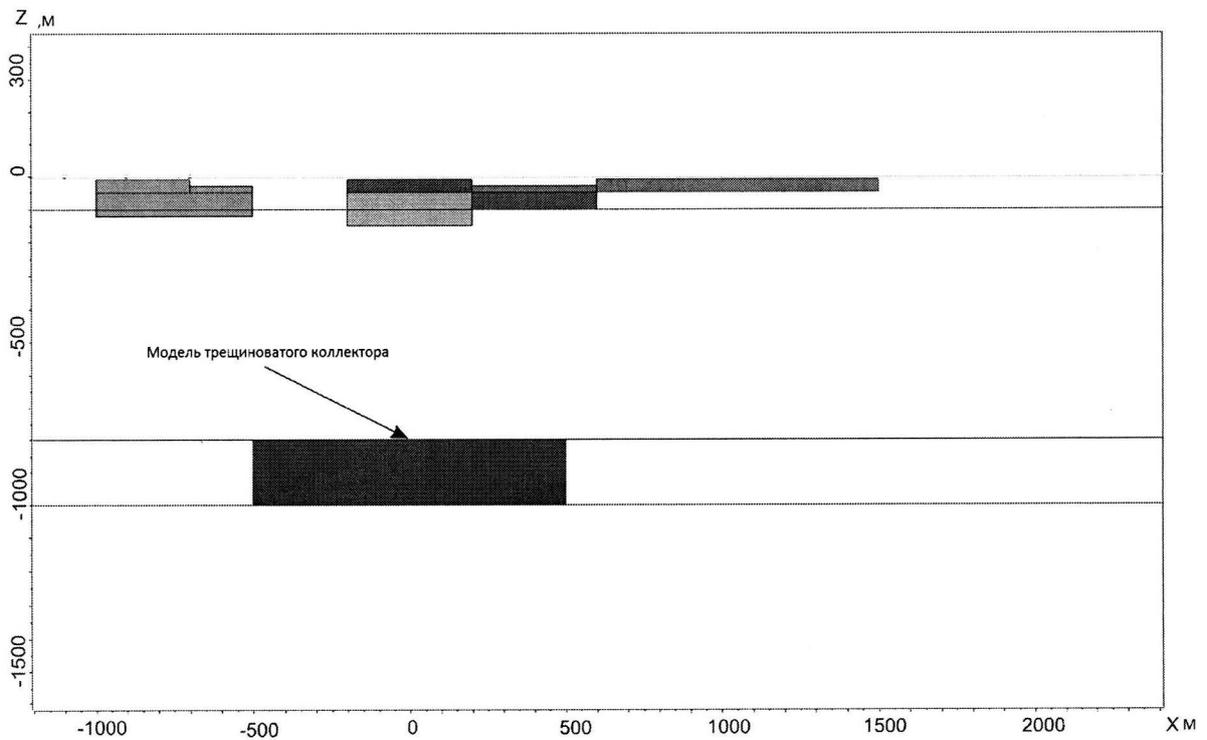


Оценка сходимости (%) модельной задачи формирования прогнозного параметра для определения трещиноватости образцов: а - по кривым релаксации удельного сопротивления, б – по амплитуде сейсмoeлектрического эффекта

Фиг.4



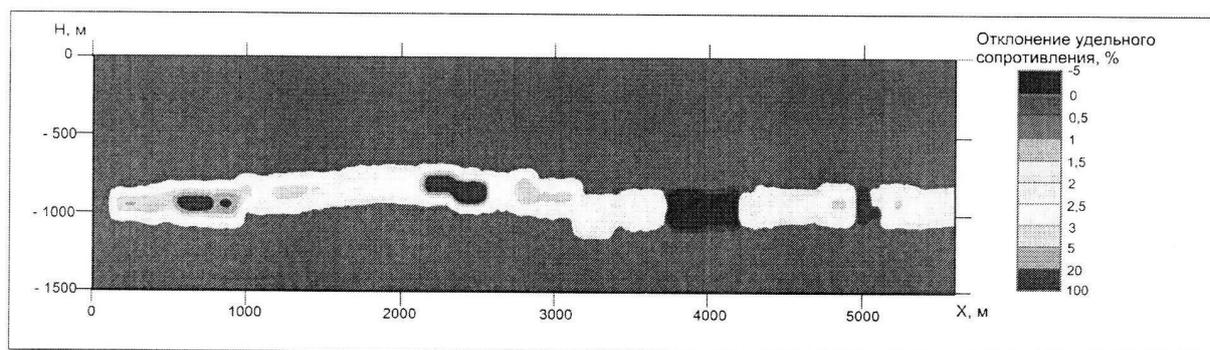
а



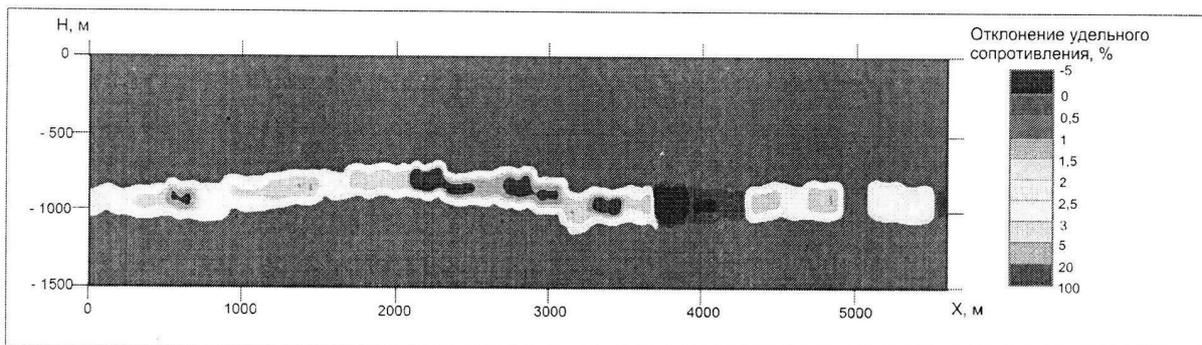
б

Модель среды: а - изометрия , б - разрез вдоль основного профиляж

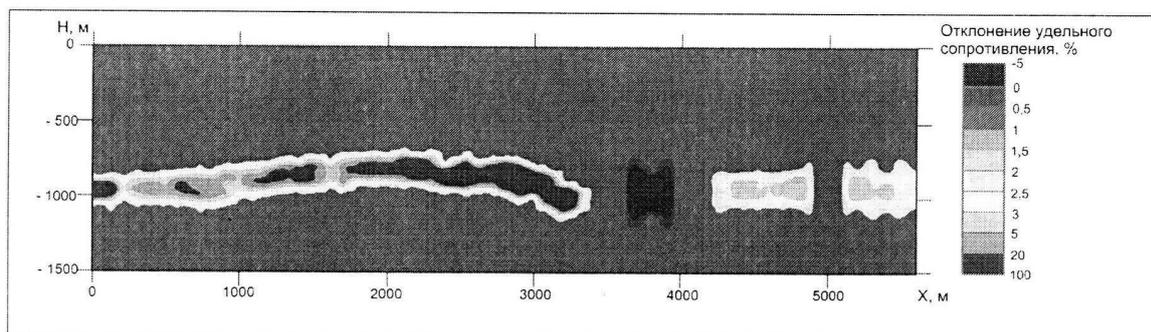
Фиг.5.



а



б

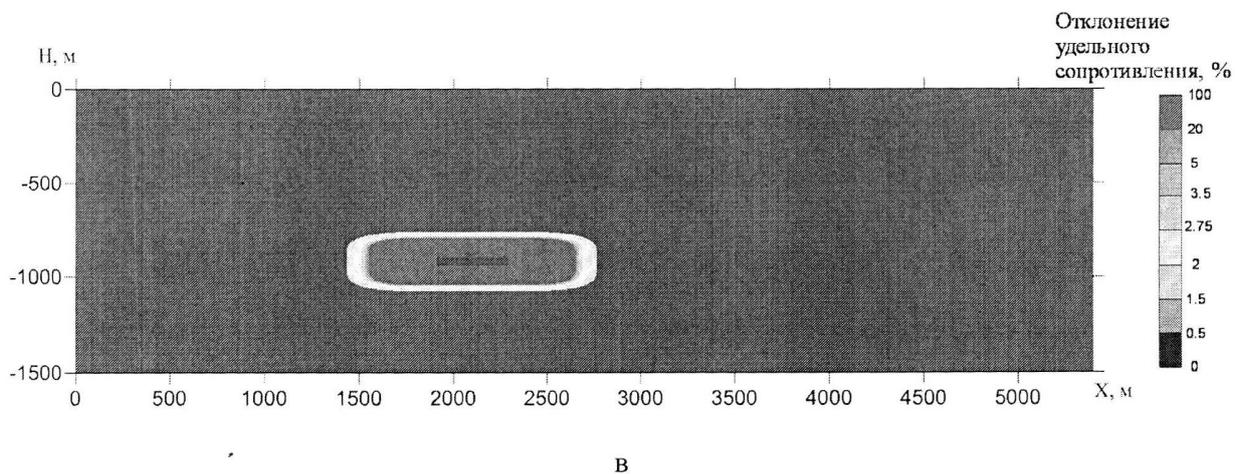
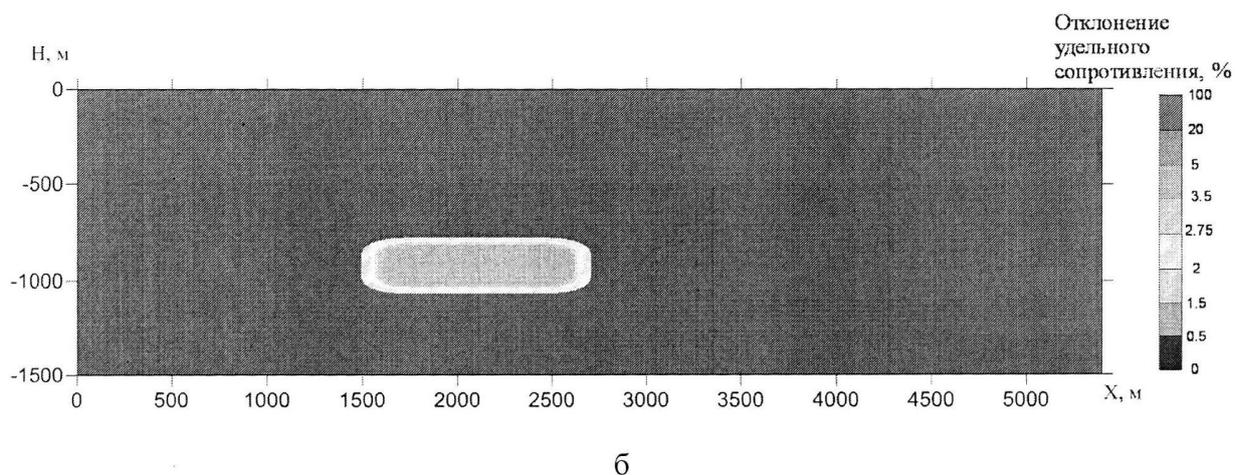
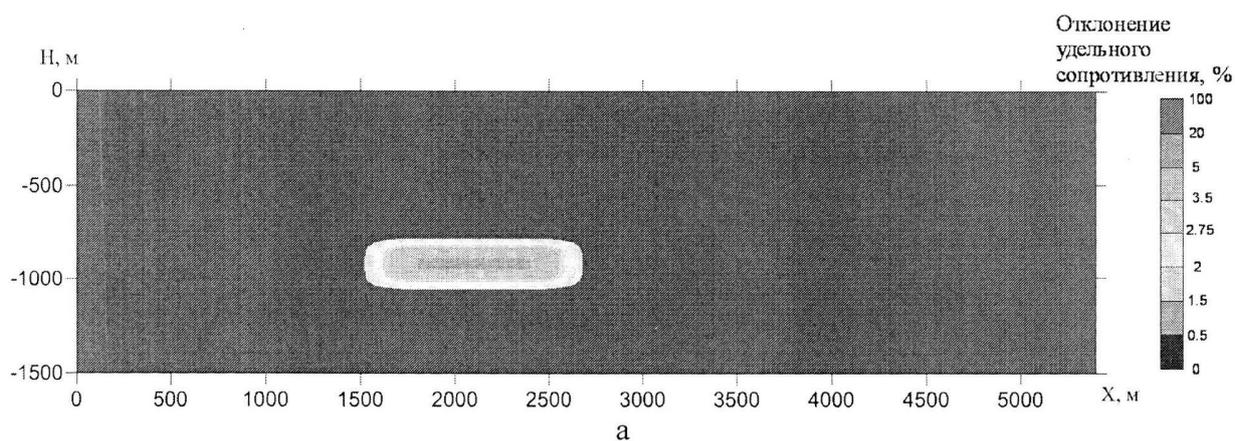


в

Выделение в разрезе аномальных объектов в процессе релаксации сопротивления после упругого воздействия на модельной площади при 1D интерпретации и профильных наблюдениях (аналогично прототипу)

а - изменение сопротивления на 5%, б - изменение сопротивления на 10%, в - изменение сопротивления на 20%.

Фиг. 6.



Выделение в разрезе аномального объекта в процессе релаксации сопротивления после упругого воздействия на модельной площади при 3D интерпретации и площадных наблюдениях (согласно изобретению)

а - изменение сопротивления на 5% , б - изменение сопротивления на 10%, в - изменение сопротивления на 20%

Фиг.7