

Современное состояние и направления развития геофизических методов прогнозирования нефтегазоносности разреза, основанных на изучении аномалий частотного спектра геофизических полей

■ Михеев С.И. д.-г.м.н., Волкова Е.Н. к.-г.м.н., Тимофеев В.В.,
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов.

В статье проводится обзор публикаций о аномалиях частотного спектра геофизических полей, наблюдаемых над месторождениями углеводородов. Происхождение аномалий объясняется нелинейностью и, в частности, активностью изучаемых сред. Приводятся также сведения о нефтегазопроисловых технологиях использующих, такие аномалии в качестве прямых признаков залежей нефти и газа. Сформулированы предложения по развитию указанных технологий.

Аномалии частотного спектра над залежами УВ фиксируются не только в сейсмическом, но и в других геофизических полях. Приведем далее краткие сведения о физико-геологическом обосновании и особенностях конкретных геофизических технологий, основанных на изучении низкочастотной части спектра наблюдаемых полей.

Сейсмические методы

Последние десятилетия ознаменовались разработкой новых сейсморазведочных технологий геологоразведочных работ, основанных на изучении низкочастотной части спектра наблюдаемых полей [Кузнецов О.Л., Чиркин И.А., Штык А.В. 4, Теоретические аспекты и опыт использования 5, Б.М.Графов, С.Л.Арутюнов, В.Е.Казаринов 6 и др.]. В них о наличии месторождения судят по сдвигу в сторону низких частот максимума частотного спектра сейсмического сигнала, зарегистрированного на исследуемой площади, по сравнению с максимумом частотного спектра, полученного на «пустой» площади.

Хотя общепризнанного объяснения данный эффект не получил, ряд компаний разработали и успешно применяют технологии, основанные на обсуждаемом эффекте.

Вначале отметим, что физико-геологическое обоснование обсуждаемых технологий базируется на активных моделях изучаемых сред. В отличие от этого ранее разработанные основные методы прямого прогноза базировались на пассивных моделях. Представления об активном характере исследуемых разрезов позволили существенно расширить количество и эффективность технико-методических приемов геофизических методов, использующихся при поисках и разведке месторождений углеводородов. Активность исследуемых сред предполагает, что они являются энергонасыщенными системами, находящимися в неустойчивом равновесии. При этом неоднородности геологического разреза могут излучать собственные колебания в виде естественной сейсмоакустической эмиссии, которые вызваны необратимыми процессами, происходящими в среде. Причем параметры этих колебаний обусловлены физико-химическими свойствами неоднородностей. Дополнительное внешнее воздействие на геологическую среду, например, упругим полем приводит к более интенсивному ее отклику за счет проявления эффекта наведенной сейсмоакустической эмиссии. Из этого следует, что зная характеристики эмиссии углеводородной систем

можно выделять ее на фоне естественного сейсмического фона, а чтобы интенсифицировать интересующую эмиссию, можно воздействовать на разрез внешним полем упругих волн.

Среди технологий базирующихся на активных моделях изучаемых сред, в России наибольшую известность получили технологии компании «Анчар», [Б.М.Графов, С.Л.Арутюнов, В.Е.Казаринов 5] и ЗАО «Градиент» [Биряльцев, Е.В. Низкочастотные микросейсмические исследования 6, Рыжов, Д.А. Метод низкочастотного сейсмического зондирования 7], за рубежом - швейцарской компания «Spectraseis» [S. Dangel и др. 23].

Технология АНЧАР (Акустическая Низкочастотная Разведка), положившая начало инфразвуковой микросейсмической разведке на нефть и газ, успешно применяется при ГРП уже более 20 лет, с середины 90-х годов [Патенты РФ, 1992, 1992, 2004]. За этот период было изучено несколько сотен тысяч км² перспективных территорий, исследовано порядка 300 ловушек как структурного, так и неструктурного типов. Основой технологии АНЧАР является выявление низкочастотных аномалий в спектре сейсми-

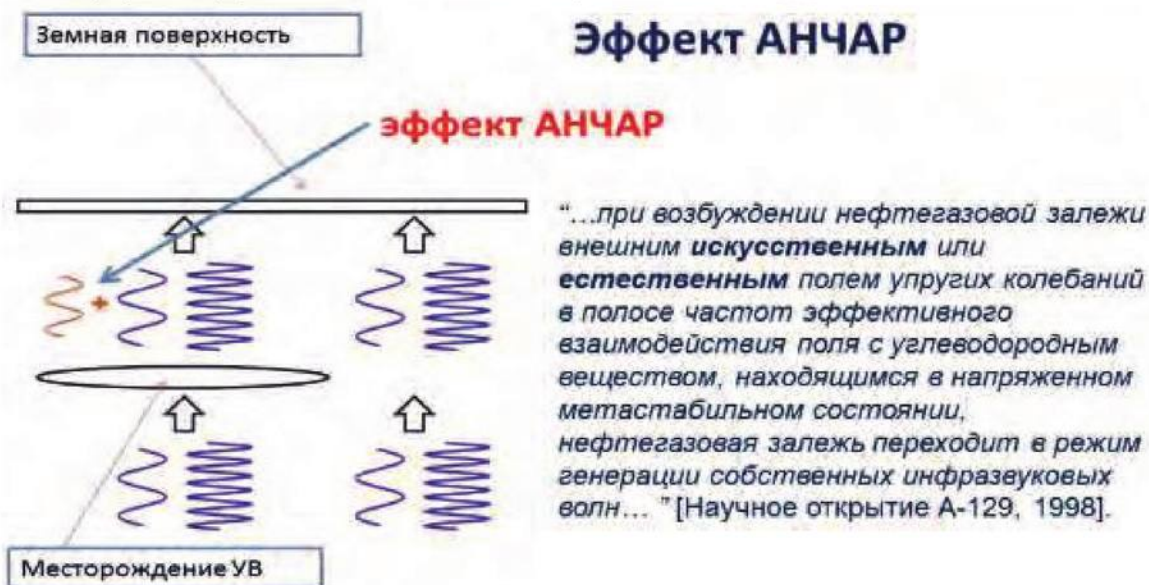
ческой записи в диапазоне 1-5 Гц. Прогноз, сделанный по технологии АНЧАР, был проверен последующим бурением более 110 скважин. Коэффициент успеха прогнозирования составил порядка 80%.

На настоящий момент технология АНЧАР освещена в большом количестве публикаций. И, возможно, для обзора взяты не самые содержательные из них [1-3], однако можно констатировать, что есть явление, есть технология его обнаружения, и показана ее геологическая эффективность. Причем, в работе [3] не просто констатируется наличие низкочастотных аномалий над залежью, но и утверждается, что они могут быть откликом на внешние воздействия в виде вибровозбуждений при стандартных сейсмических исследованиях.

Некоторые специалисты полагают, что аномалии спектра имеют циклический характер, коррелируемый с приливными лунно-солнечными циклами.

Микросейсмические методы поисков и разведки месторождений УВ, в том числе АНЧАР, основаны на предположении генерации залежью дополнительного к фоновому упругих колебаний. (Рис.1). Причем режим генерации собственных волн сохраняется в некото-

▼ Рис. 1. Природа Эффекта АНЧАР над месторождением УВ. [2].



ром интервале времени после прекращения действия внешнего источника возбуждения. Выявление этой дополнительной эмиссии на поверхности Земли, анализ ее свойств, пространственная привязка источника и пр. лежат в основе информативных критериев оценок нефтегазоносности разреза. Рядом специалистов, в том числе и зарубежных, были даны иные варианты объяснения эффекта АНЧАР [Корчагин, 2000; Алексеев 2007; Brian 2007; Свалов, 2010; Биряльцев, 2010].

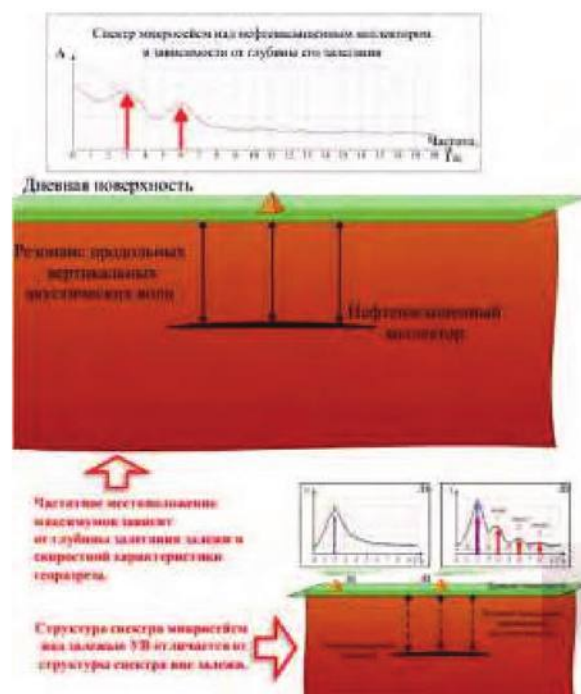
Самими разработчиками технология АНЧАР определяется как «пионер отечественной инфразвуковой микросейсмической разведки нефти и газа», имеющая все возможности для эффективного решения комплекса задач, связанных, в конечном счете, с определением местоположения залежи. По утверждению авторов технология АНЧАР наиболее эффективна в случае проведения полевых наблюдений с использованием датчиков, работающих в инфразвуковом диапазоне частот. Основной процедурой обработки зарегистрированных сейсмических сигналов является расчет их амплитудно-частотных спектров. Рассматривается вариант с дополнительным вибровоздействием, который оценивается как более эффективный.

Необходимо подчеркнуть, что технологию АНЧАР рекомендовано использовать в сложных сейсмогеологических условиях (соляно-купольная тектоника, транзитные зоны и др.), что позволяет существенно повысить эффективность сейсморазведки на поисково-разведочном этапе.

Кроме технологии АНЧАР специалистам также хорошо известен Метод низкочастотного сейсмического зондирования (НСЗ) [4]. Так же, как метод АНЧАР, метод низкочастотного сейсмического зонди-

рования основан на анализе спектральных характеристик низкочастотного (1-10 Гц) естественного сейсмического фона над предполагаемыми нефтяными залежами. (Рис. 2). Разработан и применяется группой казанских специалистов.

Методика обнаружения собственных низкочастотных колебаний залежей углеводородов НСЗ основана на пассивном сейсмическом мониторинге микросейсм территорий исследований. Формирование в области залежи УВ низкочастотных колебаний объясняется исходя из двух гипотез. Первая – залежь работает как фильтр низких частот который воздействует на естественный сейсмический фон. Наблюдаемое изменение спектра фоновой составляющей как раз и становится критерием обнаружения поисковых объектов. Вторая гипотеза предполагает, что граница нефтенасыщенный коллектор-вмещающая порода проявляет себя как волновод. Изложенные теоре-



▲ Рис. 2. Теоретическое обоснование явления НСЗ. (из доклада Рыжов Д.А., Рыжов В.А., Биряльцев Е.В., Шарапов И.Р., Шабалин Н.Я. г. Москва, Гальперинские чтения, 2014 г).

тические соображения положены в основу технологии микросейсмических исследований, применяемой на практике компанией «Градиент». [4-5]

Установлено также, что над залежью изменяется сама структура спектра микросейсм. Изучение данного эффекта совместно с учеными НИИММ им. Чеботарева Казанского федерального университета выявило, что форма спектра естественного микросейсмического сигнала на низких частотах (1-10 Гц) связана с собственными частотами среды, при этом залежь отличается аномальным отражением низкочастотных продольных волн.

Возникновение аномального отражения от залежи УВ связано со значительными различиями физических свойств УВ и воды, таких как: сжимаемость, вязкость, поглощение, а также вследствие многофазности среды в толще коллектора.

С целью повышения достоверности геологической интерпретации материалов при решении нефтепоисковых задач используется разработанный компанией комплекс полноволнового 2D и 3D - численного моделирования микросейсм в среде. Это позволяет прогнозировать характеристики микросейсмического волнового поля для заданных сейсмогеологических условий и сопоставлять расчетные спектральные кривые с наблюдаемыми.

С 2005 года АО «Градиент» провела на территории Волго-Уральской нефтяной провинции довольно значительный объем работ, основанный на интерпретации аномалий микросейсмического спектра, основанный на гипотезе фильтрации микросейсм геологической средой. По результатам этих исследований было пробурено около 70 скважин. По результатам независимых экспертов

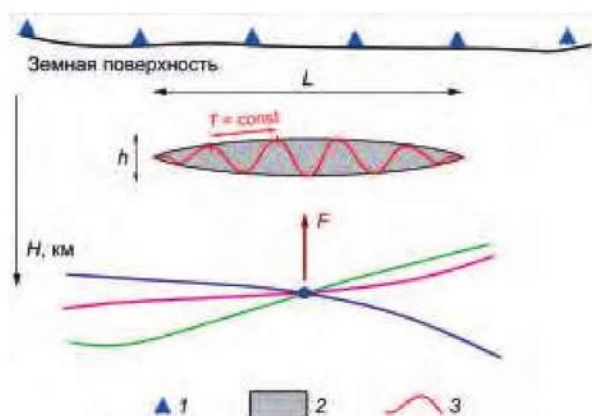
эффективность прогнозирования составляет более 80%.

Отмечена корреляция между спектральными характеристиками микросейсм и параметрами коллектора, изученная с привлечением данных бурения. Выявленные зависимости низкочастотного сейсмического сигнала от свойств пласта можно использовать для прогноза фильтрационных и емкостных свойств пласта-коллектора по характеристикам спектра микросейсм.

В развитие технологии прямых методов поиска объектов углеводорода, новосибирскими учеными в работах [6-8] и в ряде других публикаций, предложена технология фильтрационно-резонансной сейсморазведки (ФРС). Она основана на регистрации циклических изменений напряжения в земной коре под влиянием Солнца и Луны. Колебания проявляются в образовании так называемых «стоячих волн» внутри объекта, содержащего углеводородную залежь, и резонансных явлениях, происходящих между этой волной и колебаниями в целом. Изменения происходят с периодичностью лунно-солнечных циклов и достигают 5% от наблюдаемого фона скоростных и частотных характеристик изучаемой толщи. Данная методика доведена до стадии внедрения и с положительными результатами опробована на месторождениях УВ различного строения

Несколько методов поиска и разведки залежей нефти и газа основаны на эффекте (NTK ANCHAR, Spectraseis AG).

Одним из вариантов развития теорий ФРС является определение резонансных циклов на объектах углеводородов именно в качестве источника низкочастотных колебаний, регистрируемых в АНЧАР. Экспериментально установлено, что резонансы гравитирующих факторов



▲ Рис. 3. Модель возникновения стоячих волн в нефтегазовых залежах под влиянием резонанса гравитационных приливов. 1 – сейсμοприемники с частотой 0.1–10 Гц; 2 – нефтегазовая залежь (L – размер залежи (10–100 м); H – глубина, на которой находится залежь; h – мощность НГЗ (1–100 м); F – сила воздействия на залежь); 3 – стоячая волна в НГЗ с частотой 0.1–5 Гц.

(приливов, колебаний барицентра) вызывает изменения в пластах-коллекторах от 1 до 10% от величины горного давления. Частота резонансной волны определяется параметрами пласта и характером флюидонасыщения. Опробование на нескольких нефтегазовых объектах в условиях Сибирской платформы показывают целесообразность внедрения технологии ФРС в практику геологоразведочных работ.

К сожалению, интерпретировать природу выявленных при работах ФРС аномалий спектров сейсмических шумов пока однозначно невозможно, так как нет опорных данных бурения. Тем не менее, резонансы гравитационных приливов – важный источник энергии геодинамических процессов в земной коре. Энергия резонанса приливов достаточна для возбуждения стоячих волн в залежи углеводородов – это легло в основу предложенной технологии прямых поисков нефти и газа.

В качестве одного из перспективных

направлений исследований, базирующихся на предположении о том, что нефтегазовые залежи, будучи неустойчивыми термодинамическими системами, являются источниками повышенного уровня геодинамических шумов можно рассматривать изучение последних непосредственно по сейсмограммам МОГТ (2D и 3D), т. е. без проведения специальных наблюдений [Ведерников Г. В., 2005]. Суть предложенной технологии заключается в том, что для анализа микросейсм и выделения локальных участков аномально повышенной интенсивности, которые могут быть связаны с геодинамическими шумами, используются участки сейсмограмм ОПВ до вступления первых волн, получаемых при стандартных работах ОГТ. Главное достоинство данного метода заключается в том, что он позволяет получать важную дополнительную информацию о нефтегазоносности разреза не только при интерпретации материалов новых сейсморазведочных работ, но и использовать с этой целью архивные материалы ранее выполненных наблюдений. Убедительные экспериментальные доказательства такого утверждения приведены в статье [Ведерников Г. В., Чернышова Т. И. Экспертиза.....]. Приведённые в ней данные об опробовании технологии на площади, расположенной в шовной зоне Центрально-Казахстанско-Западно-Сибирской и Уральской складчатых систем доюрского комплекса, показали 100% -е подтверждение отрицательного прогноза, проведенного по микросейсам на сейсмограммах сейсморазведочных работ МОГТ, и наличие аномалий шумов неясной природы. В целом это дало объективное основание для вывода о бесспорной перспективности обсуждаемого направления и необходимости подобного анализа как очень дешевого и

оперативного для всех рекомендуемым к бурению скважинам.

Завершая обсуждение сейсмических технологий прогнозирования месторождений углеводородов отметим один характерный для большинства из них недостаток. Он заключается в том, что они основываются на гипотезе о залежи нефти как единственно возможном источнике наблюдаемой аномалии в низкочастотном диапазоне сейсмического спектра. Вместе с тем практика показывает, что аномальные сигналы наблюдаются при наличии других неоднородностей разреза, в частности, активных тектонических нарушений. Аномальный сигнал наблюдается также в целевом диапазоне при неглубоком залегании фундамента в точке исследования, соизмеримом с глубиной залегания. Кроме того, на наблюдаемое поле микросейсм могут повлиять и другие источники различного типа:

- а) перемещение тяжеловесной техники;
- б) линии электропередач;
- в) работа оборудования добывающих скважин;
- г) хозяйственная деятельность в населенных пунктах;
- д) дождь и гром;
- е) корневая система деревьев во время их раскачки ветром;
- ж) порывистый ветер и др.

Поэтому при проведении наблюдений следует анализировать условия съемки и, по возможности, исключать или учитывать при интерпретации влияние шумящих объектов, препятствующих надежно выделению эффектов от залежей УВ.

Выше было дано краткое описание наиболее известных сейсморазведочных технологий прогноза нефтегазоносности разреза, базирующихся на изучении спектров микросейсм. Вместе с тем, на настоящий момент разработано доволь-

но много других сейсмических методов, также основанных на изучении микросейсмических колебаний, имеющих менее широкое применение на практике геологоразведочных работ по сравнению с указанными выше. Среди них отметим «Способ сейсмической разведки при поиске углеводородов и способ определения залегания продуктивных на углеводороды пластов [10]» [Патент РФ № 2433425] решающий, помимо прочего, проблему глубинной привязки залежей УВ. Для поиска углеводородов под дном морей и океанов, в том числе, и в ледовых условиях на шельфе Северных морей предназначен «Способ поиска углеводородов на шельфе северных морей» [Патент РФ № 2386984]. Целью изобретения «Способ геологической разведки» [Патент РФ № 2450290] является повышение достоверности интерпретации данных микросейсмических наблюдений. Это достигается путем исключения ложных аномалий, не связанных с залежью углеводородов. Количество изобретений, основанных на изучении микросейсм, довольно много, и описать их сколь либо подробно в рамках данной статьи не представляется возможным. С нашей точки зрения целесообразно посвятить им отдельную статью.

Вариативность показаний гравиметра – как критерий выделения нефтепоисковых объектов.

Над углеводородными объектами фиксируются аномалии и в поведении поля силы тяжести. Вариации показаний измерительного прибора (разница в повторных наблюдениях в одной и той же точке) резко увеличивается над известными месторождениями. Анализ выявил несовпадение показаний (максимальная нестабильность гравиметра) до 60 мкГал в зонах, приуроченных к цен-

трам структур. За контуром продуктивности многократные измерения показали стабильность работы гравиметра. Причем вариации показаний возможно также имеют циклический характер. При этом, скорее всего природа аномалий, связанных с влиянием залежи, требует дальнейшего изучения и анализа, развития теории физики процессов, происходящих над объектом.

На одном из месторождений Западной Сибири были выполнены долговременные наблюдения за изменением напряженно-деформированного состояния и флюидодинамики геологической среды на основе анализа пространственно-временных особенностей вариаций силы тяжести. Гравиметрические исследования проводились для решения следующих задач: выделение активных разломов, контроль за динамикой флюидодинамического режима резервуара и оценка миграционных процессов по ослабленным субвертикальным зонам.

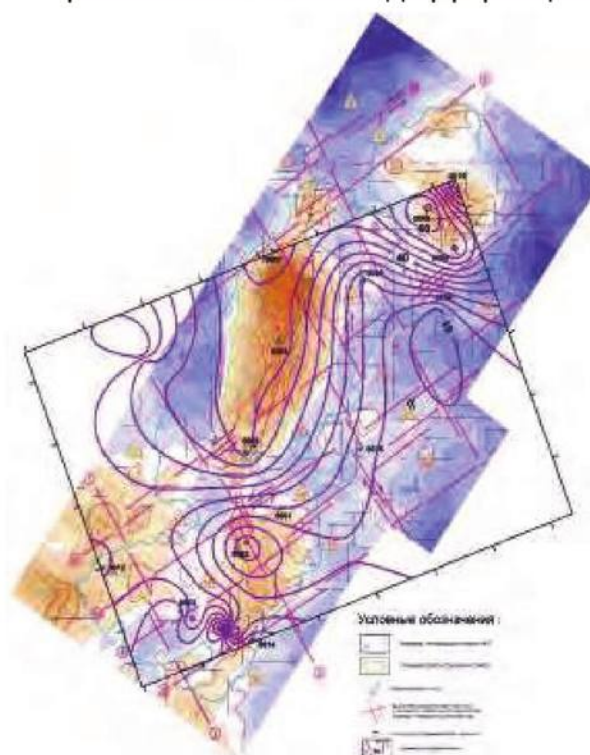
Систематический гравиметрический мониторинг высокоточным инструментом позволяет использовать информацию о вариациях силы тяжести не только для прогнозирования участков с возможными аномальными сейсмо-деформационными процессами, но и контролировать изменение плотностной характеристики резервуара и локальных неоднородностей среды, которые могут быть концентраторами напряжений.

Помимо решения основной задачи исследований в поле силы тяжести наблюдалась аномальная нестабильность показаний данных гравиметрического поля. По результатам работ была составлена схема пространственного распространения вариаций показаний измерительного прибора как разности показаний прибора в одной и той же точке диапазона измерений. Вариация

показаний представляла собой алгебраическую разность наибольшего и наименьшего результатов при многократном измерении одной и той же величины в неизменных условиях. Сформированная схема была совмещена с картой отражающих горизонтов разреза продуктивных пластов с контурами нефтеносности продуктивных пачек (Рис.4).

Максимальная нестабильность работы гравиметра (до 60 мкГал) была приурочена к центру нефтегазового месторождения. За контуром продуктивности многократные измерения показаний гравиметра были стабильны. Измерения выполнялись гравиметром CG-5 AutoGrav. Точность гравиметрических измерений (разрешение) в 1 мкГал обеспечила определение наблюдаемых значений ускорений силы тяжести со средней квадратической погрешностью не более 6 мкГал.

Кроме количественной дифференци-



▲ Рис. 4. Сопоставление карты вариаций показаний гравиметра и структурной карты продуктивного пласта на месторождении углеводородов (Западная Сибирь).

ции отмечается схожесть конфигурации полученной схемы изменения отсчетов и геометрических особенностей исходных карт отражающих горизонтов. Традиционные структурные (геометрические) и вещественные (плотностные) эффекты формируют в подобных моделях геологического разреза высокоамплитудные аномалии поля силы тяжести. Выявленные слабоамплитудные, тонкие эффекты, возможно, обусловлены резонансными факторами, недоучтенными при интерпретации.

Таким образом, можно констатировать, что изменчивость показаний прибора при высокоточных неоднократных гравиметрических съемках одной и той же точке, может быть обусловлена влиянием флюидосодержания на состояние потенциальных полей. Возможно, эти эффекты относятся к резонансным явлениям, происходящим под влиянием космических приливов.

Случайное электромагнитное излучение (ЭМИ) как источник информации о месторождениях нефти и газа.

Изучению случайного электромагнитного излучения уделяется при нефтегазопроисловых работах относительно небольшое внимание. На сегодняшний день отсутствует физико-математическая модель, адекватно описывающая возникновение полей ЭМИ. В качестве гипотез обычно указывается на то обстоятельство, что при механическом разрушении твердых тел и термическом разрушении кристаллогидратов, так же как и при разрушении двойного электрического слоя, вследствие перераспределения электронных плотностей происходит пространственное разделение противоположных по знаку зарядов. Что приводит к возникновению локальных электрических полей. Причиной механических

разрушений и деформаций могут стать различного вида геодинамические процессы.

Необходимость продолжения исследований.

Многочисленные исследования подтверждают, что объекты, содержащие углеводороды, аномально влияют на сейсмические и гравитационные поля. Для дальнейшего изучения данного явления, нахождения взаимосвязи аномального поведения сейсмических и потенциальных полей, выработке технологичной методики прямых поисков углеводородов, предлагается провести опытно-методические работы на модельных, хорошо изученных месторождениях УВ.

Задача данных исследований – разработка оптимального комплекса наблюдений физических полей для разработки технологии прямого поиска углеводородов. Решение которой позволит недропользователям получить надежный инструмент прямых поисков углеводородов, снижающий риски поиска новых месторождений.

Литература.

1. Ведерников Г.В., Чернышова Т.И. Экспертиза рекомендаций на заложение поисково-разведочных скважин // Геофизика, №1, 2010. С.38-45.
2. Компания НТК АНЧАР. www.anchar.ru
3. ЯВЛЕНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ИНФРАЗВУКОВЫХ ВОЛН УГЛЕВОДОРОДНОЙ ЗАЛЕЖЬЮ, Арутюнов С.Л. к.г.-м.н., Давыдов В.Ф. к.т.н., Кузнецов О.Л. д.т.н., Графов Б.М. д.х.н., Сиротинский Ю.В. к.т.н, Заявка на открытие № А-129 от 25 декабря 1998 г. (Международ. ассоц. авторов научн. открытий). ДИПЛОМ №109.
4. Кузнецов О.Л., Чиркин И.А., Штык

А.В. Инновационные сейсмоакустические технологии для разведки и разработки месторождений №02 (Февраль) 2010

5. Б.М.Графов, С.Л.Арутюнов, В.Е.Казаринов, О.Л.Кузнецов, Сиротинский, А.Е.Сунцов. Анализ геоакустического излучения низкочастотной залежи при использовании технологии АНЧАР. 1996, Геофизика 5, с.24-28.

<http://www.anchar.ru>

6. Биряльцев, Е.В. Низкочастотные микросейсмические исследования во временной области при разведке на залежи углеводородов [Текст] / Е.В. Биряльцев, В.А. Рыжов, Д.А. Рыжов, И.Р. Шарапов // Сборник тезисов Юбилейной X ежегодной международной конференции Гальперинские чтения. Инновационные технологии и фундаментальные исследования в наземно-скважинной сейсморазведке 2D, 3D, ВСП и сейсмологии, посвященная 90-летию Е.И. Гальперина. Москва, 2010. С. 150-154.

7. Рыжов, Д.А. Метод низкочастотного сейсмического зондирования для разведки малоразмерных и сложнопостроенных залежей углеводородов [Текст]/ Е.В.Биряльцев, В.А.Рыжов, И.Р.Шарапов, Н.Я.Шабалин // Тезисы научно-практической конференции «Гальперинские чтения 2014». Москва, 2014

8. Ведерников Г. В., 2005, Способ сейсмической разведки: Патент РФ №2 263 932 Cl G 01 V/00 с приоритетом от 30.07.2004. с. 38-44.

9. Ведерников Г. В, Чернышова Т. И. Экспертиза рекомендаций на заложение поисково-разведочных скважин// Геофизика №1. 2010

10. Жуков Юрий Николаевич, Румянцев Юрий Владимирович, Чернявец Владимир Васильевич и др. Патент РФ № 2433425. Способ сейсмической разведки при поиске углеводородов и способ определения залегания продуктивных на

углеводороды пластов и сейсмическая станция для его осуществления. публикация патента: 10.11.2011

11. Тахаутдинов Шафгат Фахразович, Хисамов Раис Салихович, Валиев Фанис Хаматович и др. Патент РФ № 2336541 Способ низкочастотного сейсмического зондирования для поиска и разведки залежей углеводородов (варианты), публикация патента: 20.10.2008

12. Груздев Павел Дмитриевич, Дмитриченко Владимир Петрович, Жостков Руслан Александрович и др Патент РФ № 2386984 Способ поиска углеводородов на шельфе северных морей, публикация патента: 27.05.2014

13. Биряльцев Евгений Васильевич, Шабалин Николай Яковлевич. Патент РФ № 2450290. Способ геологической разведки. публикация патента: 10.05.2012

14. Теоретические аспекты и опыт использования низкочастотных микросейсмических исследований при разведке залежей нефти. Вып. Е. В. Биряльцев, А. А. Вильданов, Е. В. Еронина and В. А. Рыжов. Publisher: European Association of Geoscientists & Engineers. Source: Conference Proceedings, Tyumen 2009 - EAGE International Conference and Exhibition, Mar 2009, ср-196-00014. ISBN: 978-94-6282-095-1.

DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201405306>.

15. Theoretical aspects and the experience of studying spectra of low-frequency microseisms. E. Birialtsev (1), A. Vildanov (1), E. Eronina (1), D. Rizhov (2), V. Rizhov (1), and I. Sharapov (1) Gradient JSC, Kazan, Russian Federation (gradient-kzn@yandex.ru), (2) Kazan State University, Kazan, Russian Federation (dima616@mail.ru). Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-7736-4, 2009 EGU General Assembly 2009

16. Пассивная низкочастотная сейсморазведка – мифы и реальность,

Шабалин Н. Я., Биряльцев Е. В., Рыжов В. А., ЗАО «Градиент», Приборы и Системы разведочной геофизики, №2, 2013

17. РЕАКЦИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ НА РЕЗОНАНСЫ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПРИЛИВОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ В.Г. Сибгатулин, А.А. Кабанов (НП «ЭЦ РОПР») Экспозиция нефть газ 2015 год выпуск 6 страницы 38-39.

18. Резонансы гравитационных приливов – мощный энергетический источник геодинамических процессов в земной коре. В.Г. Сибгатулин, С.А. Перетокин, А.А. Кабанов, НП «Экологический центр рационального освоения природных ресурсов» Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 2016, 9(2), 146-165

19. Антонов Ю.В., Антонова И.Ю., Волкова Е.Н. Результаты синхронных наблюдений лунно-солнечных вариаций силы тяжести в различных широтах (гг. Саратов и Бишкек)// Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. Вып 1. 2010. С.213-217.

20. Волкова Е.Н. Методические аспекты высокоточных съемок гравимагнито-разведочных задач// Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей Материалы 47-й сессии Международного научного семинара Д. Г. Успенского - В. Н. Страхова. Издательско-полиграфический центр "Научная книга", Воронеж. 2020. С. 70-72.

21. Волкова Е.Н., Барулин Д.А., Исаев В.А., Щепотьев В.Н. Новый взгляд на полевые методы высокоточных гравиразведочных работ в комплексе геофизических методов разведки// Известия Саратовского университета. Новая серия. Науки о Земле. Т. 6, №1. 2006. С.26-31.

22. Антонов Ю.В. Высокоточные колебания неприливных сейсмо-гравитационных пульсаций// Вестник Воронежского государственного университе-

та. Серия: Геология. №3. 2022. С.66-75.

23. S. Dangel и др. Phenomenology of tremor-like signals observed over hydrocarbon reservoirs // «Journal of Volcanology and Geothermal Research 128 (2003)135-158»). <http://www.spectraseis.com>

Предполагая, что аномальное поведение геофизических полей связано именно с влиянием нефтегазовых объектов на физические свойства, предлагается комплексная технология их обнаружения.

А именно: комплекс активно-пассивных сейсмических наблюдений в комбинации с высокоточной гравиразведкой.

Активные наблюдения повторяются не менее 4х раз в соответствии с лунно-солнечным циклом, пассивный микро-сейсмический мониторинг проводится весь период наблюдения. Используя современные эффективные технологии сейсморазведки – недорогие низкочастотные нодальные модули и импульсные источники возбуждения, работающие в движении – можно выполнить наблюдение.