УДК 550.83

НОВЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОИСКОВ, РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Представлена информация о результатах развития теоретических и экспериментальных основ нелинейных геоэлектрохимических методов. Обоснованы физико-геологическая и физико-математическая модели струйных ореолов рассеяния нефтегазовых месторождений в неоднородных средах. Приводятся результаты компьютерной геофизической технологии для изучения межскважинного пространства сейсмическими методами с новыми скважинными источниками упругих колебаний на основе электрогидравлического эффекта, инициированного взрывной проволокой, с целью выделения целиков нефти на месторождениях, находящихся на поздней стадии разработки, и вскрываемых разветвленно-горизонтальными скважинами. Использование при обработке данных измерений томографии позволяет выделить в межскважинном пространстве нефтяных месторождений зоны с остаточной нефтенасыщенностью (целики нефти) с целью дополнительного извлечения углеводородов разветвленно-направленными скважинами, пробуренными из эксплуатируемых скважин старого фонда.

Information on the results of theoretical and experimental basis of non-linear geoelectrochemical methods development is given in the paper. Geophysical and physico-mathematical models of jet diffuse halation of oil and gas deposits in inhomogeneous earth are given. The paper states the results of a computer-based geophysical technology for cross-well space study applying seismic methods with a new borehole elastic vibration source that uses electro-hydraulic effect, initiated by explosive wire. The study is used to detect unrecovered oil at the late stages of reservoir development or at oilfields stricken by branched and horizontal wells. Application of tomographic measurement during data processing enables detection of residual oil saturation zones (unrecovered oil) in cross-well space and additional hydrocarbons recovery by means of branched controlled holes, driven from working wells.

* * *

Топливно-энергетический комплекс России является по-прежнему определяющим экономическим, стратегическим и политическом регулятором в нашей стране. Практически все мощные государственные топливные компании преобразовались в закрытые или открытые акционерные общества, в которых доля государственных акций не в состоянии регулировать и определять техническую политику этих предприятий в интересах государства.

Отсутствие достаточных ассигнований на геолого-разведочные работы, необходимые для открытия новых месторождений углеводородов и прироста запасов на новых территориях, привели к тому, что добывающие предприятия за счет «внутренних» резервов ведут доразведку флангов разрабатываемых эксплуатирующихся месторождений, вовлекают в разработку пласты, ранее не вовлеченные в эксплуатацию, используют различные методы воздействия на продуктивные пласты с целью интенсификации режима работы скважин, повышения нефтегазоотдачи пластов.

Среди наземных геофизических и геохимических методов прогнозирования поисков и разведки месторождений углеводородов наряду с магнито- и гравиразведкой, сейсморазведкой и электроразведкой разрабатываются и начали применяться в промышленном масштабе геоэлектрохимические методы [5-8].

В 2000 г. продолжены научно-исследовательские работы по развитию нелинейных геоэлектрохимических методов, впервые в мире предложенных в России, в том числе в СПГГИ, и их практическому применению для решения геолого-поисковых и других задач.

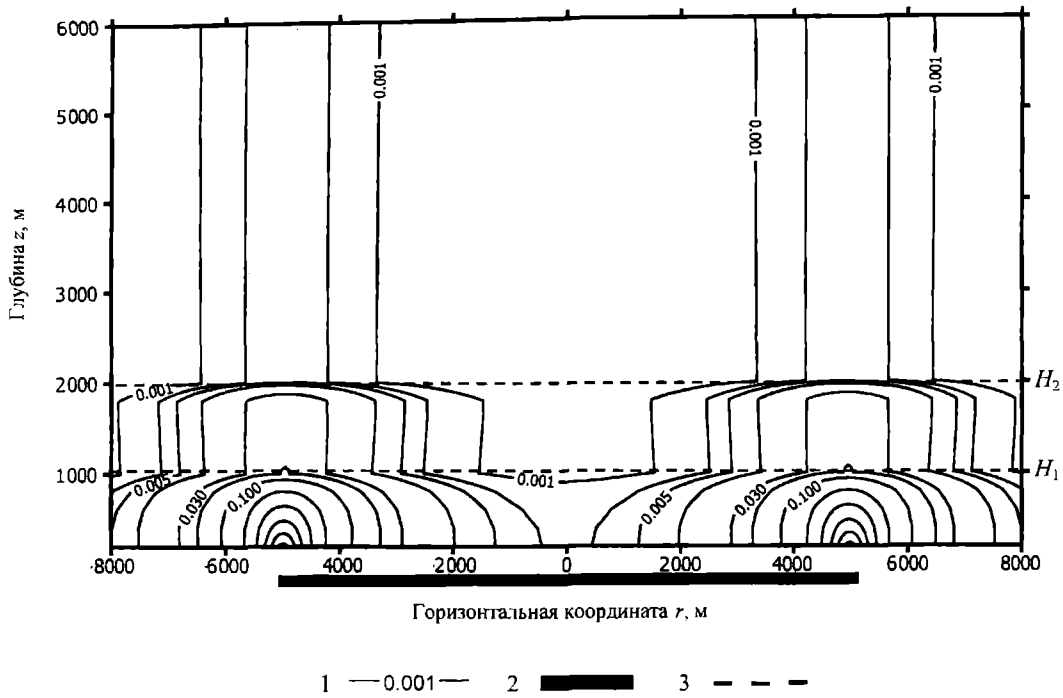


Рис.1. Распределение изолиний концентрации в струйном ореоле рассеяния над нефтяной залежью в трехслойном геологическом разрезе. Параметры первого (нижнего) слоя: $\upsilon_{эфф}/(2D)_1 = 0{,}001$ м$^{-1}$, мощность $H_1 = 1000$ м; второго слоя: $\upsilon_{эфф}/(2D)_2 = 0{,}01$ м$^{-1}$, $H_2 = 2000$ м; третьего слоя: $\upsilon_{эфф}/(2D) = 0{,}1$ м$^{-1}$, радиус залежи $r_0 = 5000$ м

– изолинии концентрации (в условных единицах); 2 – нефтяная залежь; 3 – граница раздела пород

Использование геоэлектрохимических методов позволяет решать ранее недоступные задачи (дистанционное определение минерального состава рудных тел – методы КСПК и БСПК, изучение состава вод в скважинах и акваториях без отбора проб – метод полярографического каротажа ПК) и в ряде случаев резко повышает эффективность работ.

В частности, изучение геоэлектрохимическими методами (ЧИМ, МДИ, МПФ, ТМГМ) впервые выявленного российскими исследователями особого типа ореолов рассеяния в земной коре – вертикально вытянутых струйных ореолов рассеяния подвижных форм химических элементов позволяет в 10-100 раз увеличить глубинность поисков рудных и нефтегазовых месторождений по сравнению с известным литогеохимическим методом.

В связи с этим на основе предложенной в СПГГИ газово-пузырьковой конвективной физико-геологической модели струйных ореолов рассеяния разработаны соответствующие физико-математические модели струйных ореолов рассеяния тяжелых металлов – микрокомпонентов нефти (V, Mn, Ni, Cu, Co и др.) нефтегазовых месторождений как в однородных [5], так и в неоднородных, слоистых горных породах [6]. Путем решения дифференциальных уравнений квазиконвективной диффузии изучено распределение концентрации подвижных форм нахождения химических элементов как в плане, так и в вертикальном разрезе (рис.1).

В результате сопоставления теоретических и экспериментальных зависимостей ширины геоэлектрохимических аномалий от глубины нефтегазовых залежей впервые получены значения параметра «струйности» $\upsilon_{эфф}/(2D)$ (отношение скорости квазиконвекции к удвоенному значению коэффициента диффузии элемента) для реальных геологических разрезов. Показано, что для Волго-

Уральской нефтегазоносной провинции $v_{эфф}/(2D) \cong 0{,}08\text{-}0{,}1\ м^{-1}$, в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции выделяются два слоя: в нижнем $v_{эфф}/(2D) \cong 0{,}03\ м^{-1}$, в верхнем $v_{эфф}/(2D) \cong 0{,}005\ м^{-1}$

С учетом полученных результатов обоснован способ оценки глубины залегания нефтегазовых залежей по результатам геоэлектрохимических съемок.

Данные теоретические исследования и практическое их опробование включены в научный отчет института ВИРГ–Рудгеофизика по договору 10-03 за 1997-2000 гг. «Исследование наложенных ореолов рассеяния над разноранговыми рудными и углеводородными объектами для целей их прогноза и поисков», соавторами которого в СПГГИ являются проф. О.Ф.Путиков и аспирант Н.А.Касьянкова.

По результатам исследований в 2000 г. аспирант СПГГИ Чжоу Цзыюн (КНР) успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Результаты лабораторного физико-химического и физико-математического моделирования нестационарных одномерных струйных ореолов рассеяния, полученные совместно с аспирантом СПГГИ Вэнь Байхуном путем численного решения (сочетанием методов конечных разностей и итераций) интегро-дифференциального уравнения для концентрации подвижных форм химических элементов отражены в статье, опубликованной в Китае [8].

Физико-химические, физико-математические основы нелинейных геоэлектрохимических методов, а также обобщение опыта практического применения всех указанных методов (КСПК, БСПК, ПК, ЧИМ, МДИ, МПФ, ТМГМ) изложены в главе 2 «Геоэлектрохимия и струйное рассеяние» 7-го тома справочника, изданного в 2000 г. в Нидерландах [7].

По приглашению китайской стороны проф. О.Ф.Путиков прочитал курс лекций по геоэлектрохимическим методам в Университете технологии г.Ченду (провинция Сычуань). В этом университете ряд сотрудников ведет работы по использованию геоэлектрохимических методов. Особенно интересен первый китайский опыт постановки работ методом КСПК доцентом Ден Чжунтаном.

В 2000 г. опубликована первая обобщающая монография проф. О.Ф.Путикова «Полярографический каротаж» [4]. Метод полярографического каротажа применяется при решении задач гидрогеохимии, геоэкологии, контроля процессов подземного выщелачивания руд. В книге изложены основы теории и обширные результаты полевых исследований состава вод зондовым способом (без отбора проб) в скважинах, озерах и морях с помощью этого метода.

Как правило, проектами разработки нефтегазовых месторождений разбуривание месторождений проводится наклонно-направленными и горизонтальными скважинами [2]. В 2000 г. нами совместно с НПЦ «ГеоМИР» разработана малогабаритная телесистема МАК-104 с электромагнитным каналом связи «забой-устье» и расширенным комплексом геофизических и технологических датчиков для контроля проводки наклонно-направленных и горизонтальных скважин. Комплекс включает измерения: зенитного угла в диапазоне $0 \div 135° \pm 0{,}1°$; угла разворота $0 \div 360° \pm 0{,}5°$; азимутального угла $0 \div 360° \pm 0{,}5°$; тока излучения в канал связи $0 \div 25\ А \pm 0{,}1\ А$; температуры $0 \div 100 \pm 0{,}1\ °С$; продольной и поперечной составляющей вибрации долота в диапазоне 0-50g. Предусмотрена возможность измерения в статике при остановке процесса бурения и выключенной циркуляции промывочной жидкости. Результаты измерений в статике запоминаются в памяти микропроцессора и при последующем включении циркуляции данные измерений передаются по каналу связи «забой–устье» [1].

Нами совместно с ВНИИГИС разработана технология межскважинного сейсмоакустического просвечивания для выявления целиков нефти на месторождениях, находящихся в поздней стадии разработки [2, 3].

На основе электрогидравлического разрядника со «взрывной» проволокой разработан скважинный источник упругих импульсов. Амплитуда тока скважинного из-

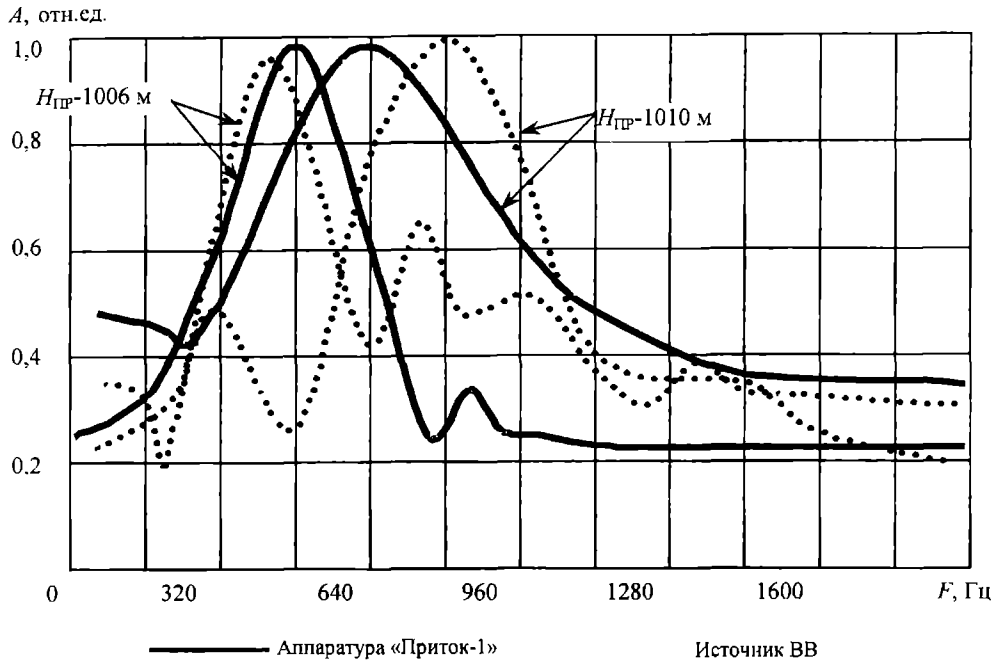


Рис.2. Спектры падающих первых волн при электроискровом с взрывной проволокой и взрывном возбуждении. Глубина источника 1175 м (скв.40 пл. Введеневская). Глубины точек приема 1006 и 1010 м (скв.29 пл. Веденевская). Расстояние между точками излучения и приема 200 м

лучателя составляет в импульсе 20 кА, длительность – 50 мкс. Высокая стабильность амплитуды и широкая полоса частот излучаемых упругих колебаний импульсов (0,1 Гц-1 кГц) позволили реализовать надежную и безопасную систему скважинных наблюдений. Аппаратура спускается в скважину на стандартном геофизическом кабеле и позволяет произвести без подъема на поверхность до 2 тыс. операций. На рис.2 показаны спектры упругих импульсов падающей первой волны при электроискровом со взрывной проволокой и взрывном возбуждении (ВВ), полученных в скважинах. Глубина расположения источника в скважине – 1175 м, точки приема находятся на глубинах 1006 и 1010 м. Из рис.2 видны преимущества частотного спектра излучаемых упругих импульсов разработанного нами источника по сравнению со взрывным источником одноразового действия при сравнимой мощности излучения в эквиваленте около 20 г тротила.

В качестве приемной аппаратуры использовалась цифровая многоканальная аппаратура АМК-ВСП. Разработчик – ВНИИГИС. В качестве чувствительных элементов применены сейсмоприемники с полосой пропускания 10-1000 Гц. Чувствительность приемников 1 мкВ. Динамический диапазон принимаемых сигналов 140 дБ. При расстоянии между скважинами до 500 м сигнал уверенно принимается при двух-трех накоплениях.

Методика проведения работ отрабатывалась на Введеневской площади Ишимбайского района Башкортостана. Полученные результаты свидетельствуют о возможности получать данные о насыщенности пространства, выявлять зоны повышенной остаточной нефтенасыщенности пласта с целью вскрытия его вторым стволом или направленного упругого воздействия с помощью аппаратуры «Приток-1» [3].

Таким образом, создана технология повышения эффективности разработки месторождений, находящихся в поздней стадии разработки, разветвленно-горизонтальными скважинами, изучения межскважинного пространства и направленного воздействия на пласты с целью увеличения извлекаемых запасов углеводородов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Молчанов А.А.* Электромагнитный канал связи «забой-устье» телеизмерительных систем типа ЗИС-4М, МАК-1 / А.А.Молчанов, Г.С.Абрамов, Г.В.Терехов // Наука в СПГГИ (ТУ). Вып.3 / СПГГИ. СПб, 1998. С.110-118.

2. *Молчанов А.А.* Интенсификация режима работы нефтегазовых скважин и увеличение извлекаемых запасов углеводородов месторождений России (состояние и перспективы) // Зап. СПГГИ. Т.144 (1).СПб, 1999. С.89-94.

3. *Молчанов А.А.* Скважинные геофизические компьютерные технологии выявления невыработанных участков нефтяных залежей и интенсификации дебитов скважин / А.А.Молчанов, И.А.Исхаков, Н.М.Зараменских, А.Г.Болгаров // Международная геофизическая конференция / ВИРГ-Рудгеофизика. СПб, 2000.

4. *Путиков О.Ф.* Полярографический каротаж. СПб: Изд-во СПбГУ, 2000. 500 с.

5. *Путиков О.Ф.* Струйные ореолы рассеяния тяжелых металлов нефтегазовых месторождений и их использование при оценке параметров залежей О.Ф.Путиков, С.А.Вешев, Н.А.Ворошилов, С.А.Алексеев, Вэнь Байхун, Чжоу Цзыюн // ДАН РФ. Т.370. 2000. № 5. С.668-671.

6. *Путиков О.Ф.* Струйные ореолы рассеяния над нефтегазовыми залежами в неоднородных породах / О.Ф.Путиков, С.А.Вешев, Н.А.Ворошилов, С.А.Алексеев, Чжоу Цзыюн, Н.А.Касьянкова // Геофизика. 2000. № 1. С.52-56.

7 *Putikov O.F., Wen B.* Geoelectrochemistry and Stream Dispersion. In the book: Geochemical Remote Sensing of the Subsurface. Edited by M. Hale. Handbook of Exploration Geochemistry, Vol. 7 2000, Amsterdam, Elsevier Science, 549p. (Chapter 2, p. 17-79).

8. *Wen Baihong, Putikov O.F* Gas bubble-facilitated transport of metals in lithosphere. Transactions of Nonferrous Metals Society of China. Vol. 9, No. 1, 1999, p.p. 152-157.