

## Поиск месторождений углеводородов радиоволновым методом

В настоящее время в георазведке полезных ископаемых наметилось новое направление – применение радиоволновых методов. Важнейшей особенностью данных методов является наличие высокой разрешающей способности и точности определения границ залежи. Данные методы являются более эффективными по сравнению с методами поискового бурения, обладают высокой достоверностью и удовлетворяют критерию экологической чистоты по сравнению с методом грави- и магниторазведки, а также сейсморазведки.

Радиоволновые методы геофизической разведки имеют существенные преимущества перед электроразведкой на постоянном токе, основанной на изучении изменения сопротивления пород. С помощью радиоволновых методов можно обнаруживать и изучать геологические объекты, отличающиеся как по электропроводности, так и по магнитной и диэлектрической проницаемости, можно измерять многие параметры электромагнитной волны (ЭМВ) – амплитуду различных составляющих, фазу, поляризацию, вести исследование в различном диапазоне частот, т.е. получать значительно больше информации от исследуемых объектов [1...3]. При использовании высокочастотных полей можно разработать малогабаритную мобильную аппаратуру с направленным излучением и приемом.

Основа всех методов поиска залежей нефти и газа (углеводородов) – отличие физических свойств пород в области залежи от свойств пород – коллекторов, в которых она находится, следовательно, по аномальным эффектам в электромагнитном поле (ЭМП) проблема поиска может быть решена сравнительно просто, однако в действительности данная задача гораздо сложнее. В реальности аномалии от залежей могут быть невелики и часто сглаживаются похожими аномалиями от других факторов. При выделении углеводородной залежи (УВЗ) значительные трудности создают аномалии – помехи, поэтому результаты геофизических исследований часто могут быть неоднозначными [4]. В этом и заключается одна из основных трудностей решения проблем поиска УВЗ.

Данная проблема может устранена использованием комплекса геофизических и геохимических методов, позволяющих более уверенно определять залежи нефти и газа, а также разработкой новых, более эффективных методов. В последнее время стали широко использоваться радиоволновые методы на основе двухчастотного взаимодействия [5]. Однако результаты исследований характеризуются частным случаем взаимодействия мощного высокочастотного (ВЧ) зондирующего импульса и низкочастотного (НЧ) сигнала гораздо меньшей амплитуды.

Были проведены исследования режима двухчастотного взаимодействия при различных параметрах зондирующих сигналов. Исследование распространения радиоволн (РРВ) над залежью УВЗ проводилось в рамках ква-

зигидродинамического приближения с использованием многочастотных электронно-ионных токов и феноменологически заданных частот столкновений, так как учет постоянного магнитного поля и взаимодействия частиц в широких пределах изменения параметров плазмopodobной среды делают весьма громоздким последующий анализ взаимодействия со средой, а вычисления дисперсионных характеристик в окрестности частот резонансов значительно усложняется [6], а в идеальном (без дисперсии) случае и кинетическое и гидродинамическое рассмотрение взаимодействия теряет физический смысл.

Был проведен анализ взаимодействия ЭМВ с УВЗ в режиме бигармонического сигнала вида:

$$\vec{e}(t) = E_1(\cos \omega_1 t + K_E \cos \omega_2 t), \quad (1)$$

$$\text{где } K_E = \frac{E_2}{E_1}, \quad k\omega = \frac{\omega_1}{\omega_2}.$$

Здесь  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $\omega_1$  и  $\omega_2$  соответственно амплитуды и частоты ЭМВ, распространяющихся над залежью.

Анализ заключался в исследовании тензора диэлектрической проницаемости среды над УВЗ, который в общем случае имеет вид:

$$\vec{\epsilon} = \begin{vmatrix} \dot{\epsilon}_1 & j\dot{\epsilon}_2 & 0 \\ -j\dot{\epsilon}_2 & \dot{\epsilon}_1 & 0 \\ 0 & 0 & \dot{\epsilon}_3 \end{vmatrix} \quad (2)$$

Данные о свойствах анизотропной среды заложены в компонентах тензора (2)  $\dot{\epsilon}_1, \dot{\epsilon}_2, \dot{\epsilon}_3$ , подлежащих исследованию при различных режимах взаимодействия среды с ЭМВ.

Были рассмотрены два случая взаимодействия:

$$K_E \ll 1, \quad k\omega \ll 1;$$

$$K_E \gg 1, \quad k\omega \ll 1. \quad (3)$$

Частотная компонента, определяющая параметры возмущающих сигналов для этих случаев имеет вид

$$\begin{aligned} \tilde{\omega}_1 &= \omega_2 \left[ k\omega + K_E^2 + K_E(1 - k\omega) \cos(\omega_2 - \omega_1)t \right], \\ \tilde{\omega}_2 &= \omega_2 \left[ k\omega + 1 + \frac{1 - k\omega}{K_E} \cos(\omega_2 - \omega_1)t \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Исследование данных величин показало, что характер взаимодействия зависит от параметров  $K_E$  и  $k\omega$ , т.е. от амплитуд и частот зондирующих сигналов. Было установлено, что если использовать две различные частоты  $f_1$  и  $f_2$ , где  $f_1$  определяется из поддиапазона 1-2 МГц, а  $f_2$  – из области 10-100 МГц, то характер их РРВ над УВЗ резко отличается.

Напряженность поля  $E_1$  на границе залежи резко уменьшится (рис. 1 а). Использование альтернативной частоты  $f_2$  (рис.1 б) позволяет зарегистрировать на границе контура УВЗ противоположную по отношению к первой аномалию напряженности электрического поля  $E_2$ . Таким образом, аномалии поля ЭМВ на границе контура УВЗ для двух частот  $f_1$  и  $f_2$  оказываются противоположными, что может быть использовано для идентификации УВЗ. Определяя отношение амплитуд напряженности поля двух частот

$$q_K = \frac{E_2}{E_1} = q(l), \quad (5)$$

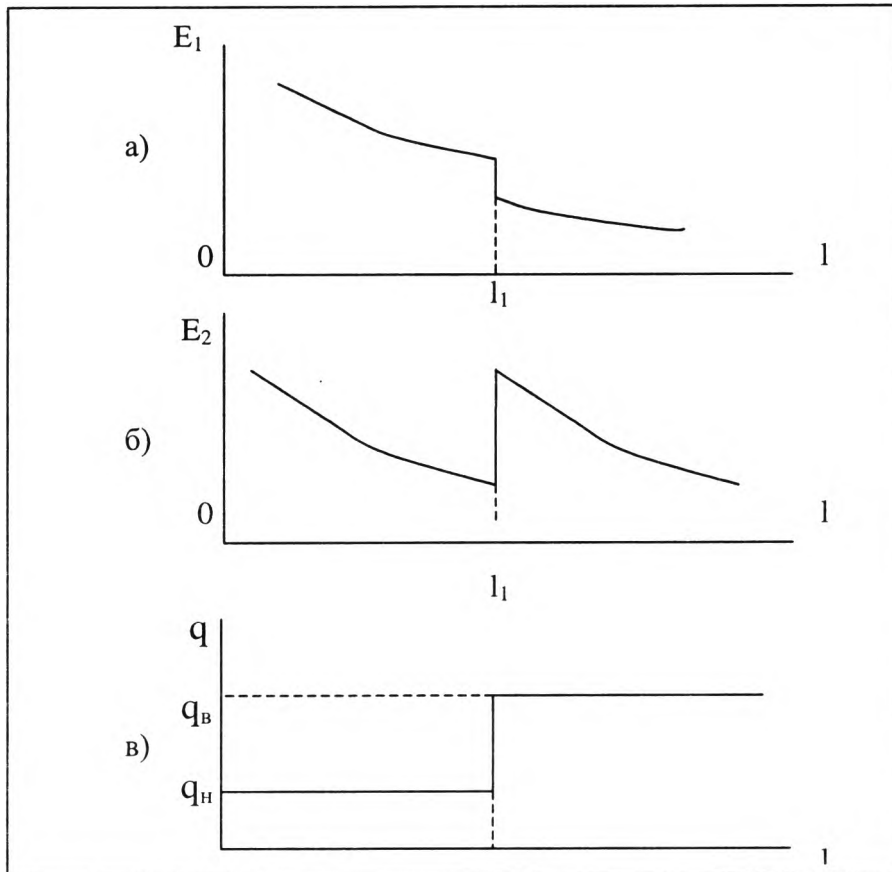


Рис. 1. Поле ЭВМ над залежью:

а) на частоте  $f_1$ ;

б) на частоте  $f_2$ ;

в) отношение амплитуд поля альтернативных частот

зарегистрированных в фиксированной  $k$ -ой точке исследуемого профиля, можно получить скачок отношения напряженностей на границе контура УВЗ в несколько раз превышающий аномалию напряженности электрического поля на частоте  $f_1$  (рис. 1 в). Вне контура залежи, также как и над ней, отношение напряженностей остается постоянным и принимает значения  $q_v$  и  $q_n$ , соответственно. Скачок отношения  $\Delta q = q_v - q_n$  в точке  $l_1$  указывает на изменение свойств подстилающей среды. Таким образом, использование двухканальной системы на основе разнесения их по частоте повышает достоверность определения и выделения УВЗ.

Численное исследование компонентов тензора (2) в диапазоне частот  $f_2 = 10^2 - 10^{11}$  Гц для диэлектрической проницаемости среды  $\epsilon_2 = 10$ , проводимости  $\delta_2 = 0,01$  См/м при концентрации частиц  $Ne = 10^{16} - 10^{17}$  м<sup>-3</sup> показали, что максимальное проявление нелинейного эффекта взаимодействия сигналов с залежью оказывается в диапазоне частот 10-30 МГц, когда частота  $f_1$  сигнала близка или выше частоты столкновения между электронами и ионами.

Проводились испытания взаимодействия ЭМВ с УВЗ путем регистрации напряженности поля на комбинационной частоте  $f_2 = f_1 + f_{\text{отр}}$ , где  $f_{\text{отр}}$  – частота отраженного сигнала (рис. 2).

Сигнал частоты  $f_1$ , вырабатываемый генератором 1, поступает на вход делителя 3, где происходит деление сигнала на два с равными амплитудами. С одного выхода делителя сигнал поступает на антенну 5, которая облучает исследуемый участок поверхности сигналом СВЧ. Со второго выхода делителя сигнал поступает на вход смесителя 4. Отраженный от поверхности сигнал принимается антенной 6. В смесителе происходит смешивание двух сигналов с частотами  $f_1$  и  $f_{\text{отр}}$ , в результате чего на вход приемника 2 поступает сигнал с частотой  $f_2$ .

Испытания проводились в контрольных точках геопрофиля с использованием частот  $f_1 = 8,5$  ГГц и  $f_2^{(1)} = 15$  МГц,  $f_2^{(2)} = 30$  МГц [7]. Результаты измерений свидетельствуют о возможности повышения точности определения границ УВЗ.

Полученные результаты могут быть использованы в поисковой геофизике для георазведки, оконтуривания и идентификации УВЗ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Mc. Aleer. N. Radar that sees beneath the ground // Pop. Sci. – 1989. – Vol. 234. – p. 113.

2. Даев Д.С. Высокочастотные электромагнитные методы исследования скважин. – М.: Недра, 1974. – 232 с.

3. Петровский А.Д. Радиоволновые методы в подземной геофизике. – М.: Недра, 1971. – 182 с.

4. Березкин В.М., Киричек М.А., Кунаев А.А. Применение геофизических методов разведки для прямых поисков месторождений нефти и газа. – М.: Недра. – 1978. – 224 с.

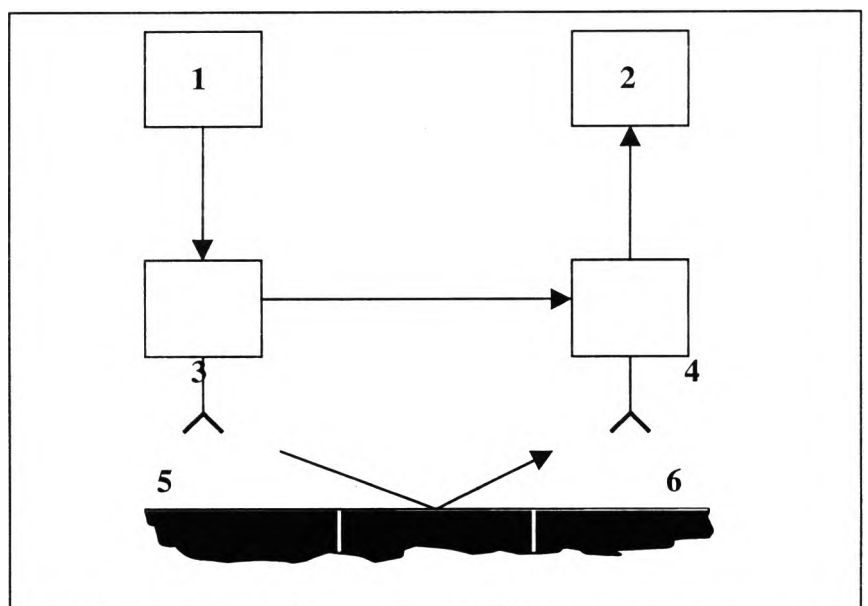


Рис. 2. Регистрация напряженности поля над УВЗ на комбинационной частоте

5. Москвичев В.Н. Электродинамический отклик магнитоактивной среды на воздействие двухчастотного сигнала // Радиотехника и электроника. – Минск: Высшая школа. – 1994. – Вып. 22. – с. 69- 74.
  6. Бенефи Дж. Радиационные процессы в плазме. – М.: Мир. – 1973. – 437 с.
  7. Заявка на изобретение № 970349 от 30. 06. 1997 г. Гололобов Д.В. , Янушкевич В.Ф. Способ геозлектроразведки углеводородных залежей.
-