УДК 550.84

О.Ф.ПУТИКОВ, Е.Г.МАРГОВИЧ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)
С.А.ВЕШЕВ, Н.А.ВОРОШИЛОВ, С.Г.АЛЕКСЕЕВ, М.Б.ШТОКАЛЕНКО
ФГУНПП «Геологоразведка», Санкт-Петербург

ГЕОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ПОИСКАХ НЕФТЕГАЗОВЫХ И РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Широко используемые при поисках нефтегазовых и рудных месторождений геофизические методы, в том числе и магнитотеллурические, не позволяют достаточно уверенно изучать вещественный состав объектов. Для решения задачи можно использовать в комплексе разработанные в России глубинные геоэлектрохимические методы, основанные на изучении струйных ореолов рассеяния.

Дано краткое физико-геологическое и физико-математическое обоснование струйной миграции вещества в земной коре, приведены примеры распределения концентрации в струйном ореоле в слоистом геологическом разрезе, оценено влияние вертикальных разломов.

The widely used for prospecting for oil and gas fields and mineral deposits geophysical methods, including magnetotelluric ones, don't allow to define composition of the targets matter. To resolve the problem it is necessary to add in the complex of the created in Russia geoelectrochemical methods which are based on investigation of the jet haloes of dispersion.

In this connection the brief physico-geological and physico-mathematical fundamentals of the theory on jet migration of matter in the Earth crust are given. There are considered also influences of the layered formation structure and vertical faults.

Физические свойства геологического объекта косвенно и неоднозначно связаны с его вещественным составом. Например, одинаковую электропроводность могут иметь сульфидные руды разного состава (пирит-пирротиновые, медно-никелевые и др.), графитовые сланцы и т.д. Таким образом, все геофизические (в том числе и магнитотеллурические) методы, основанные на изучении физических свойств объектов, являются косвенными методами поисков.

Для повышения определенности выявления полезного ископаемого необходимо иметь прямые признаки его вещественного состава (например, признаки повышенной концентрации определенных химических элементов). Такую информацию позволяют получить геохимические методы поисков, основанные на изучении ореолов рассеяния химических элементов [3]. К сожалению, геохимические методы (например, литохимические, основанные на изучении полной, валовой, концентрации элемента) имеют весьма небольшую глубинность исследований (как правило, менее 25 м).

Однако в 60-е годы прошлого века в России под руководством Н.И.Сафронова и Ю.С.Рысса разработаны новые, глубинные методы поисков, названные геоэлектрохимическими. Геоэлектрохимические методы основаны на изучении узких групп форм нахождения химических элементов в ореолах рассеяния: метод ЧИМ (частичного извлечения металлов) – электроподвижных форм, МДИ (метод диффузионного извлечения) – подвижных и сорбированных форм, МПФ (метод поисков по формам нахождения) – металлоорганических форм, ТМГМ

(термомагнитный геохимический метод) – форм, связанных с оксидами и гидроксидами железа и марганца [4].

Применение геоэлектрохимических методов при поисках рудных и нефтегазовых залежей показало их высокую глубинность (несколько сотен метров при поисках руд [4] и несколько километров при поисках нефтегазовых залежей [1, 6, 7]).

В результате выполненных в большом объеме полевых геоэлектрохимических исследований был установлен неизвестный ранее тип наложенных ореолов рассеяния, названный «струйными» ореолами рассеяния. Основными особенностями струйных ореолов рассеяния являются [5]:

1) близвертикальная вытянутость;

2) слабое уменьшение амплитуды ореола при увеличении глубины залежи;

3) слабое увеличение ширины ореола при возрастании глубины залежи.

Далее на основании имеющихся полевых данных по гидрогеологии, гидрогеохимии и лабораторного моделирования был обоснован газово-пузырьковый квазиконвективный механизм формирования струйных ореолов рассеяния. Согласно этому механизму, в верхней части земной коры существует региональный направленный вертикально вверх поток микропузырьков газов (в основном, метана, водорода, азота). По пути движения в области объектов с повышенной концентрацией подвижных форм химических элементов (рудных тел или водонефтяного контакта нефтегазовых залежей) эти пузырьки захватывают элементы и переносят вверх (в газовой фазе или в жидкой – эффект природной ионной флотации), вплоть до дневной поверхности. При взаимодействии этого потока с твердой фазой горных пород формируется весь спектр вторично закрепленных форм нахождения металлов [1].

В ряде районов Мирового океана экспериментально зафиксировано наличие струй («факелов») газовых пузырьков и связанных с ними повышенных концентраций металлов в растворенном, а иногда во взвешенном состоянии. Так, в Охотском море на северо-западном склоне о-ва Парамушир выявлен источник пузырьков газа, преимущественно метанового состава, «факел» которого эхолотом прослежен от дна (на глубине 800 м) вверх до 200 м от поверхности воды [2]. В области распространения газового «факела» выявлена близвертикальная зона повышенных концентраций растворенных металлов: Fe, Cu, Cd, Cr, Co и Ni – с превышением фонового содержания в водах шельфа до 60 раз.

Математически задача определения концентраций элементов в подвижных формах (в подземных водах) и в закрепленных формах (в твердой фазе горных пород) приближенно может быть сведена к системе нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных или к одному нелинейному интегродифференциальному уравнению [8]

$$\nabla^2 C - \frac{V_{эф}}{D}\frac{\partial C}{\partial z} - \frac{\beta q_{max}}{D} C\, e^{-\beta\int_0^{\tau} C(z,x,y,\eta)d\eta} + \frac{W}{D} - \frac{1}{D}\frac{\partial C}{\partial \tau} = 0, \qquad (1)$$

где C – объемная концентрация растворенного вещества в подземных водах пористых горных пород; $V_{эф}$ – эффективная скорость квазиконвекции, связанная с движением пузырьков газа, $V_{эф} = \gamma\sigma v$; D – коэффициент диффузии растворенного компонента в пористых горных породах; β – постоянная кинетики гетерогенной реакции жидкость – твердая фаза; q_{max} – максимально возможная концентрация компонента в твердой фазе; W – мощность источников подвижной формы (растворенного компонента); τ – время; z – направленная вертикально вверх координата; γ – доля объема газа в единице объема породы; σ – коэффициент распределения подвижного компонента между жидкой и газовой фазами; v – вертикальная скорость движения пузырьков газа.

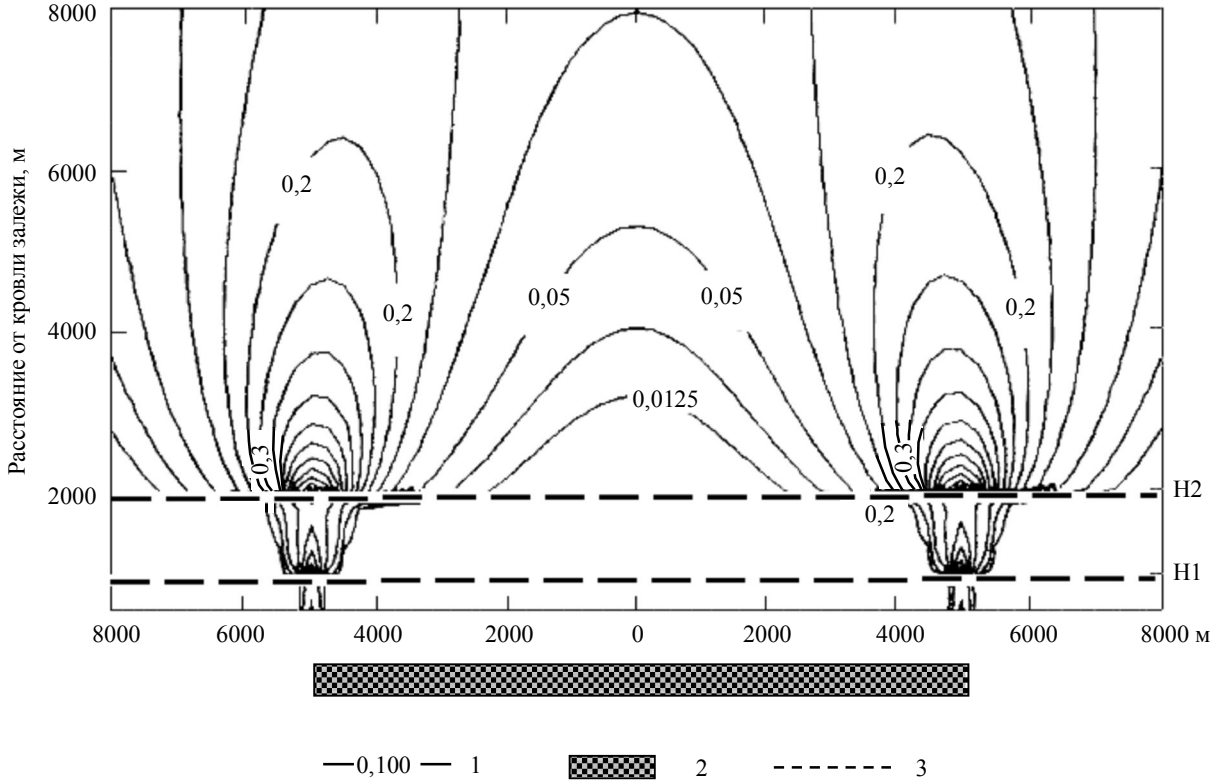


Рис.1. Распределение изоконцентраций в струйном ореоле рассеяния над нефтяной залежью в трехслойном геологическом разрезе (k_1 = 0,1 м$^{-1}$, k_2 = 0,01 м$^{-1}$, k_3 = 0,001 м$^{-1}$, r_0 = 500 м, H1 = 1000 м, H2 = 2000 м, $D_1 = D_2 = D$)
1 – изоконцентрация (в условных единицах); 2 – нефтяная залежь; 3 – граница раздела пород

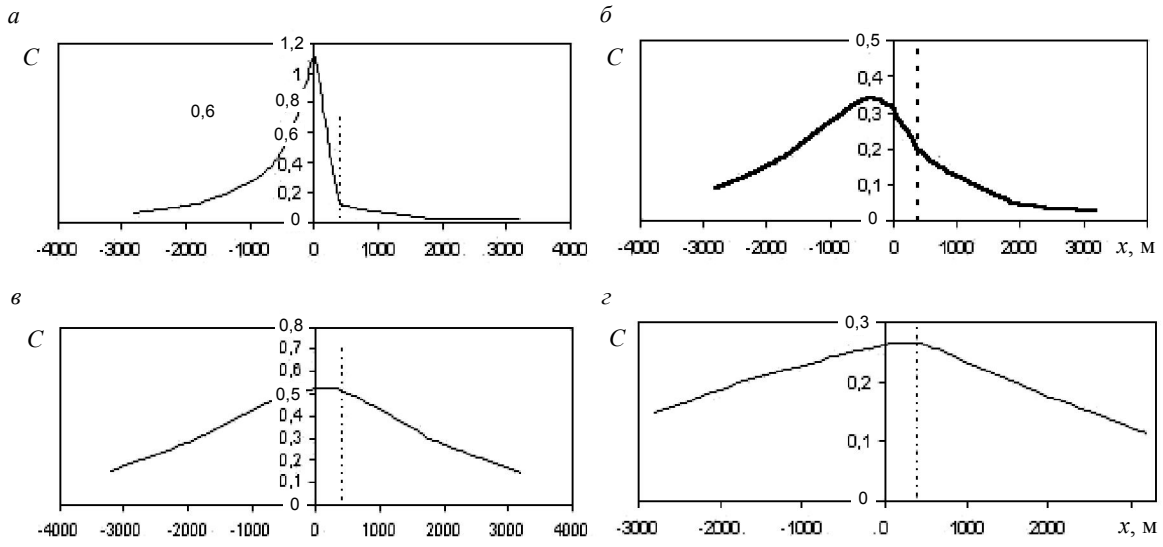


Рис.2. Теоретические кривые распределения концентрации в струйных ореолах при наличии трещины при следующих параметрах:
а – z = 100 м; b = 400 м; V/D = 0,001 м$^{-1}$; $\Delta V/D$ = 10; *б* – z = 1000 м; b = 400 м; V/D = 0,001 м$^{-1}$; $\Delta V/D$ = 10; *в* – z = 2000 м; b = 400 м; V/D = 0,001 м$^{-1}$; $\Delta V/D$ = 10; *г* – z = 5000 м; b = 400 м; V/D = 0,001 м$^{-1}$; $\Delta V/D$ = 10

Для одномерного случая решение уравнения (1) получено численно сочетанием методов конечных разностей и последовательных приближений [8].

При достаточно большом времени формирования струйного ореола ($\tau \to \infty$, $\frac{\partial C}{\partial \tau} = 0$, $e^{-\beta \int_0^{\tau} C(z,x,y,\eta) d\eta} \to 0$), из (1) получаем линейное дифференциальное уравнение для концентрации C в стационарном струйном ореоле рассеяния:

$$\nabla^2 C - \frac{V_{эф}}{D} \frac{\partial C}{\partial z} + \frac{W}{D} = 0 . \qquad (2)$$

Путем решения уравнения (2) при соответствующих граничных условиях получено распределение концентрации C в струйных ореолах рудных и нефтяных залежей.

Рассмотрим случай трехмерного геологического разреза, когда в нижнем (первом) пласте находится нефтяная залежь в виде горизонтального круга радиуса r_0, на расстоянии H1, H2 по вертикали от которого находятся границы раздела соответственно первого и второго, второго и третьего пластов. Нижний пласт имеет следующие физические параметры: $k_{п1}$ – коэффициент пористости; v_1 – кажущаяся эффективная скорость квазиконвекции, связанная с подъемом газовых пузырьков, $v_1 = k_{п1} v_{1ист}$, (где $v_{1ист}$ – истинная эффективная скорость квазиконвекции); D_1 – коэффициент диффузии подвижной формы элемента; $k_1 = v_1 / 2D_1$ – параметр «струйности» нижнего пласта. Аналогичны параметры для среднего пласта: $k_{п2}$, $v_2 = k_{п2} v_{2ист}$, D_2, $k_2 = v_2 / 2D_2$ – и верхнего пласта: $k_{п3}$, $v_3 = k_{п3} v_{3ист}$, D_3, $k_3 = v_3 / 2D_3$. Краевая часть нефтяной залежи (окружность радиуса r_0) является источником подвижных форм металла мощностью q. Пример распределения концентрации подвижных форм металла для этого случая приведен на рис.1.

При наличии вертикальной трещины на расстоянии b от горизонтального линейного источника подвижных форм симметрия в распределении концентрации по координате x, нормальной к этому источнику, нарушается. Как видно из рис.2, наличие трещины может привести к смещению максимума аномалии как в сторону трещины, так и в противоположную. Следовательно, при интерпретации геоэлектрохимических данных проекцию контура нефтяной залежи на дневную поверхность и глубину залежи необходимо определять с учетом наличия и влияния зон вертикальной трещиноватости.

Выводы

1. Глубинные геоэлектрохимические методы поисков (ЧИМ, ТМГМ, МДИ, МПФ), основанные на изучении квазиконвективных (струйных) ореолов рассеяния, позволяют осуществлять поиски глубокозалегающих рудных месторождений и нефтегазовых залежей с определением положения контура нефтеносности.

2. При интерпретации данных геоэлектрохимических методов необходимо учитывать основные особенности геологического разреза: слоистость, наличие зон разломов и трещиноватости, влияющих на строение струйных ореолов рассеяния.

3. Для уточнения вещественного состава объектов различной электропроводности, выявленных по данным магнитотеллурических исследований, рекомендуется их комплексирование с глубинными геоэлектрохимическими исследованиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геоэлектрохимические технологии прогноза и поисков рудных и нефтяных объектов / С.Г.Алексеев, С.А.Вешев, Н.А.Ворошилов, Н.А.Касьянкова, О.Ф.Путиков, М.Б.Штокаленко // Прикладная геохимия. Вып.3. Прогноз и поиски: Сб. статей / ИМГРЭ. 2002. С.365-382.

2. *Демина Л.Л.* Аномальное поведение металлов в зоне подводного газового источника о-ва Парамушир (Охотское море) / Л.Л.Демина, В.Б.Анашев // Океанология. 1989. Т.29. Вып.6. С.952-959.

3. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1983. 191 с.

4. *Рысс Ю.С.* Геоэлектрохимические методы разведки (введение в геоэлектрохимию). Л.: Недра, 1983. 255 с.

5. Струйная миграция вещества в образовании вторичных ореолов рассеяния / Ю.С.Рысс, И.С.Гольдберг, С.Г.Алексеев, А.С.Духанин // ДАН СССР. 1987. Т.297. № 4. С.956-958.

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

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

8. *Putikov O.F.* Geoelectrochemistry and Stream Dispersion. Chapter 2/ O.F.Putikov, B.Wen // Geochemical Remote Sensing of the Subsurface / Edited by M.Hale. Handbook of Exploration Geochemistry. Vol.7. Amsterdam, Elsevier, 2000. 549 p.