

Нов способ за обработка и интерпретация на данните от еманационния треков метод

Н. Ташев, Н. Демидовцев, В. Даракчиев

ДСО „Редки метали“, Бухово

N. Tashev, N. Demidovtsev, V. Darakchiev — A New Procedure for Treatment and Interpretation of Data from the Emanation Track Method. An original procedure for treatment of results from the Emanation Track Method (ETM) is proposed in which the surface component of the emanation is eliminated and relictic (deep) anomalies “ Δ ” are obtained. This is achieved by gamma-spectrometric measurements in the places of emanation recording. The computed U(Ra) and Th content are expressed by equivalent emans Rn and Th. In order to compare the results of ETM in number of tracks and the computed surface emanation (Rn+Th) they are reduced to a common scale (conditional emans) through coefficients which are the ratio between the mean values of the above quantities or by means of correlation regression analysis. The relictic (deep) component (Δ) of the emanation is found as difference between the observed number of tracks, computed into conditional emans, and the concentration of the emanation (Rn+Th) for the same point.

The question about metal content in percents, the depth of the ore body and the emanation concentration is also discussed. Nommogrammes are compiled which relate the three parameters, illustrated by concrete examples.

The procedure proposed permits to considerably improve the interpretation of ETM results, to evaluate the depth of the method and effectively to apply the latter into the practice for prospecting of hidden ore mineralizations, unexposed on the surface.

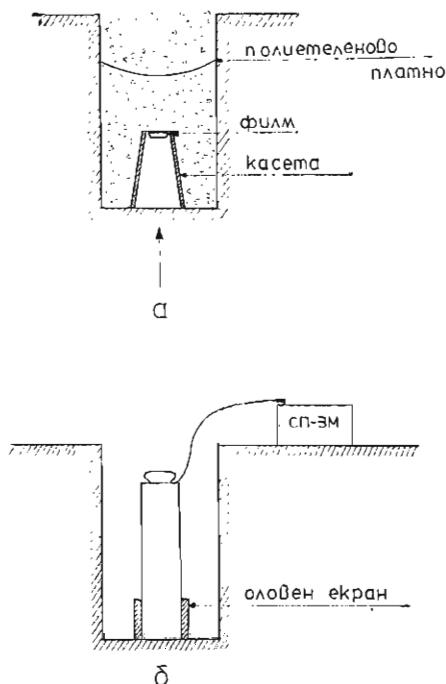
Кратки сведения за метода и неговото провеждане

Известно е, че по своите измерителни възможности еманационният метод е един от най-чувствителните от съществуващите досега радиометрични методи за търсене на радиоактивна суровина. Обаче големият брой пречещи природни фактори рязко намалява ефективността на този метод. Към факторите, които влияят на резултатите от снимката, се отнасят значителните вариации на коефициента на еманирание; пористостта на скалите и рудите и особено условията за взимане на почвен въздух. Към последните отнасяме главно изменението на налягането, овлажнеността на почвата след дъжд, вятър, изменение мощността на рахлите образувания, техния състав и генезис, наличието на обводнени участъци и др.

Един от пътищата за намаляване на временните вариации на резултатите от изследванията е да се използва способът на натрупване на полезна информация, т. е. получаване на усреднени по време значения на определяната величина. Намаляване влиянието на пречещите фактори може да бъде достигнато, отказвайки се от принудителното взимане на почвен въздух за

сметка на неговото постъпване в измерителната камера в резултат на естествен процес на пренасянето на газа.

Възникването на нови принципи за измерването концентрацията на еманацията стана възможно във връзка с разработването на методи за регистрация на трековете (следите) на заредени частици в поглъщащ материал.



Фиг. 1. а. Начин на залагане пробната касета в ямката; б. Начин на измерване съдържанието на уран и торий в почвения слой

В 1972 г. от фирмата „General Electric“ (САЩ) бе патентован нов способ на еманационната снимка, получил названието „Метод за проявяване на трековете“ (track etch) (С о к о л о в, Т и т о в, 1976). В Съветския съюз е по-разпространено друго название на метода, обусловено от неговата методическа приемственост — „Еманационен треков метод“ (ЕТМ) (С о к о л о в, Т и т о в, 1976). Същността на метода се заключава в това, че специална чувствителна към алфа-излъчване лента се поставя в касета в ямички, дълбоки 0,6—1,0 m, или в сондажи и след експониране в течение на 25—30 d се обработва химически за проявяване на трековете, т. е. следите на алфа-частиците, образуващи се в лентата в резултат на въздействието върху нея на алфа-излъчването на еманацията и нейните продукти на разпадане. Еманацията попада в касетите, представляващи изолирани отгоре от външни излъчватели камери със свободен достъп на въздух отдолу за сметка на различните механизми на пренасяне на радона (фиг. 1а).

В съответствие с природните условия засега са известни няколко варианта за прилагане на метода, а именно:

1. Измервания в ямки с дълбочина 0,6—1,0 m и сухи сондажи.
2. Измервания във влажни наноси и блатисти почви.

3. Измервания в сондажи, запълнени с вода, и в повърхностни води.

При провеждането на изследвания на повърхността в ямки мащабът на работа би следвало да отговаря на този при обикновената еманационна снимка. Обикновено ореолите по трековия метод са от 3 до 5 пъти по-големи по размери в сравнение с ореолите, откривани с традиционните радиометрични методи. Като твърдотелни диелектрични детектори за регистриране следите на алфа-частиците могат да се използват различни филми. При това е необходимо да се знае, че чувствителна към алфа-излъчването е тази страна на лентата, която е била покрита с фотоемулсия (светочувствителна). Такива са познатите у нас филми тип „Свема“ (СССР), „ORWO“ и „ORWO CHROM“ (ГДР) и др. Съществуват и специални филми тип „Kodak“ (френски) за регистриране на следи от алфа-частици. Предварително на обикновените филми се снима фотоемулсията (5—10 минути в 5—10% разтвор на КОН при 40—50°C). На къс от всяка отделна лента се проверява чувствителността чрез облъчване от рудни образци или други източници на алфалъчи в течение на 24 часа. След експонирането на терена (30 d) филмът се проявява в 43% разтвор на КОН при температура 60°C за 45 минути. После снимките се фиксират в 10—15% разтвор на оцетна киселина, след което се промиват на течаща вода и изсушават. Броенето на трековете се извършва под микроскоп в проходяща светлина на фона на бройна решетка с обектив 40 и окуляр 5×. За избягването на субективни грешки при броенето се предлага използването на сканиращи оптични микроскопи, съединени с компютър (система „МАГМО“, СССР, „Eriquant“, ГДР, и др.).

Теоретични основи за способа на интерпретация

Броят на трековете в точката на наблюдение в общия случай е обусловен от еманацията, отделяна от скалите и рудите, намиращи се в непосредствена близост до точката на наблюдение ($Rn^{222} + Rn^{220} + Rn^{219}$) и еманацията, постъпваща при благоприятни условия от по-дълбоките части на разреза. Rn^{222} (радон) и Rn^{219} (актинон—Ас) са продукти от разпада на U, но Rn^{220} (торон — Тн) е продукт от разпадането на Th. Тъй като Rn^{220} има много малък период на полуразпадане ($T_{1/2} \approx 54,5$ s), торият може да влияе на резултатите само ако се намира в непосредствена близост от пробните касети.

За отделяне в първо приближение на дълбочинната съставляща на еманацията ние предлагаме да се изчислява разликата между наблюдаваните стойности и разчетените по известни съдържания на U и Th. Определянето съдържанията на U и Th е необходимо да става в същите ямки, където ще се поставят пробните касети с филмите, като на тръбата на гама-спектрометъра (СП-ЗМ) се поставя цилиндричен оловен екран с открито дъно за неутрализиране страничното влияние от активността на околната среда, което прави и касетата (фиг. 16).

Изчисляването на концентрацията на радона и торона извършваме по формулите (Н о в и к о в, К а п к о в, 1974)

$$(1) \quad N_{\infty}^{Rn} = 3,4 \cdot 10^4 \frac{\alpha_{Rn} \cdot q_U \cdot C \cdot \rho}{\eta} \quad (\text{емани}),$$

$$(2) \quad N_{\infty}^{Tn} = 2,2 \cdot 10^4 \frac{\alpha_{Tn} \cdot q_{Th} \cdot \rho}{\eta} \quad (\text{екв. емани}),$$

където q_U , q_{Th} са съдържания на U и Th в %; α е коефициент на еманиране; C — коефициент на радиоактивно равновесие; ρ — плътност на рахлия слой в g/cm^3 ; η — пористост.

За разлите алувиално-делувиални отложения по литературни данни (Н о в и к о в, К а п к о в, 1974) са характерни следните значения на параметрите: $\alpha_{Rn} = \alpha_{Tn} \approx 0,1 \div 0,4$; $\rho = 1,5 \div 2,0 \text{ g/cm}^3$, $\eta = 0,1 \div 0,4$. Коефициента C приемаме за единица.

Разглежданите условия съответствуват на случай на изход на еманацията от повърхността. За сметка на свободния изход на еманацията, обусловен от дифузията в атмосферата, концентрацията на еманацията на дълбочина x от устието на ямките ще бъде

$$(3) \quad N = N_{\infty} \left(1 - e^{-\sqrt{\frac{\lambda}{D^*}} \cdot x} \right),$$

където N_{∞} е концентрацията на еманацията, изчислена по формули (1) и (2); λ — константа на разпада, като $\lambda_{Rn} = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ и $\lambda_{Tn} = 1,27 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$; $D^* = \frac{D}{\eta}$ — привиден коефициент на дифузия и $D_{Rn}^* = D_{Tn}^*$.

За разглежданите условия $D^* = 2 \cdot 10^{-3} \div 1 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (Н о в и к о в, К а п к о в, 1974). За средни значения на $D^* = 7 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ и $x = 0,5 - 0,6 \text{ m}$ коефициентът при N_{∞} във формула (3) за Rn е $0,6 - 0,65$, а за Tn ≈ 1 (т. е. при Tn поправка за дълбочина на ямките може да не се въвежда).

В резултат получаваме

$$(4) \quad N_{Rn+Tn} = \left[3,4 \left(1 - e^{-\sqrt{\frac{\lambda_{Rn}}{D^*}} \cdot x} \right) q_U + 2,2 q_{Tn} \right] \frac{\alpha \cdot \rho}{\eta} \cdot 10^4 \text{ (екв. емани)}.$$

При постоянна дълбочина на дупките коефициентът $(1 - e^{-\sqrt{\lambda/D^*} \cdot x}) = C$ ще бъде постоянен и формула (4) приема вида

$$(4') \quad N_{Rn+Tn} = (3,4 \cdot C \cdot q_U + 2,2 q_{Tn}) \frac{\alpha \cdot \rho}{\eta} \cdot 10^4 \text{ (екв. емани)}.$$

Получените значения на концентрацията на еманацията са приети от нас за повърхностна съставяща. Строго казано, тези данни са справедливи за мощност на слоя, определяща се от дълбочинността на гама-метода. В същото време за усъвършенствуване методиката на интерпретация на резултатите от ЕТМ ние направихме опит да изчислим и дълбочинната съставяща. За тази цел за сравняване на резултатите от ЕТМ, определени в брой трекове, и изчислената за повърхностния слой концентрация на еманацията (Rn+Tn) в экв. ем. е необходимо да се преведат в един мащаб, т. е. своеобразно градуиране броя на трековете. Провеждането става чрез коефициенти, получавани от отношението на средните стойности:

$$K = \frac{\sum_1^n N_{Rn+Tn}}{\sum_1^n N_{Tp}}, \quad N_{Rn+Tn} = k N_{Tp} \text{ (усл. ем.)},$$

където N_{Tp} е наблюдаван брой трекове; N_{Rn+Tn} и $k N_{Tp}$ са съответно стойности на изчислената еманация в экв. ем. и наблюдаваният брой трекове в усл. ем. По този начин бяха установени характерът и скалата на връзката на указаните величини (в пределите на нормално поле) от полевите наблюдения по един от профилите (фиг. 2б).

Тази операция може също така да се осъществи с помощта на способите на корелационно-регресионния анализ или с помощта на метода на най-

малките квадрати. Получените уравнения на регресия и коефициент на корелация са съответно

$$N_{Rn+Th} = 0,45 N_{Tr} + 26 \text{ и } r = 0,65.$$

Освен превеждането към един мащаб с тази операция треките от условно понятие придобиват определен конкретен смисъл. По-нататък ще ги наричаме „условни емани“. Тази операция приемаме като напълно правомерна, вземайки пред вид единната физична природа на „трековете“ на радона и торона.

Остатъчната (дълбочинна) съставяща от значенията на треките представлява разлика между наблюдавания брой на последните, превърнати в условни емани, и концентрацията на еманацията в тези точки, изчислена по известните съдържания на уран и торий, определени с помощта на гамаспектрометър СП-ЗМ (фиг. 1б). Тази разлика (остатъчна, дълбочинна съставяща) отбелязваме с Δ :

$$\Delta = N_{Rn+Th}^{SP} (\text{усл. ем.}) - N_{Rn+Th}^{СП-ЗМ} (\text{екв. ем.}), \text{ усл. ем.}$$

Стойностите Δ са свързани с определена функционална зависимост със съдържанието на уран в „рудното тяло“, с дълбочината на неговото залягане и скоростта на миграцията на радона към повърхността. Под „рудно тяло“ в дадения случай и в бъдещите разсъждения ще разбираме безкраен пласт със съдържание на уран, n пъти превишаващо съдържанието в скалите, покриващи „рудното тяло“. Предполага се, че в последните между „рудното тяло“ и точката на наблюдение няма други концентрации на уран. Може да се изчисли концентрацията на радон на всяко разстояние от повърхността на „рудното тяло“ с различни съдържания на уран и да се оцени дълбочинността на ЕТМ.

Концентрацията на еманацията с отдалечаване от източника намалява в съответствие със закона за радиоактивния разпад на радона:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} vt} \cdot H,$$

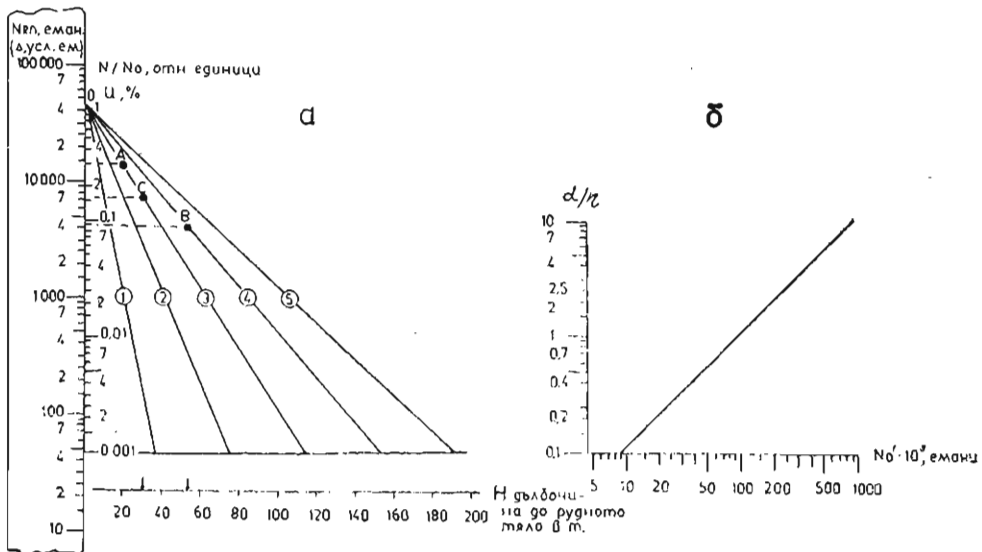
където $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ е константа на разпада; $T_{1/2}$ — период на полуразпада;

$t = \frac{H}{v}$ — време в денонощия; v — скорост на миграция на радона в m/d .

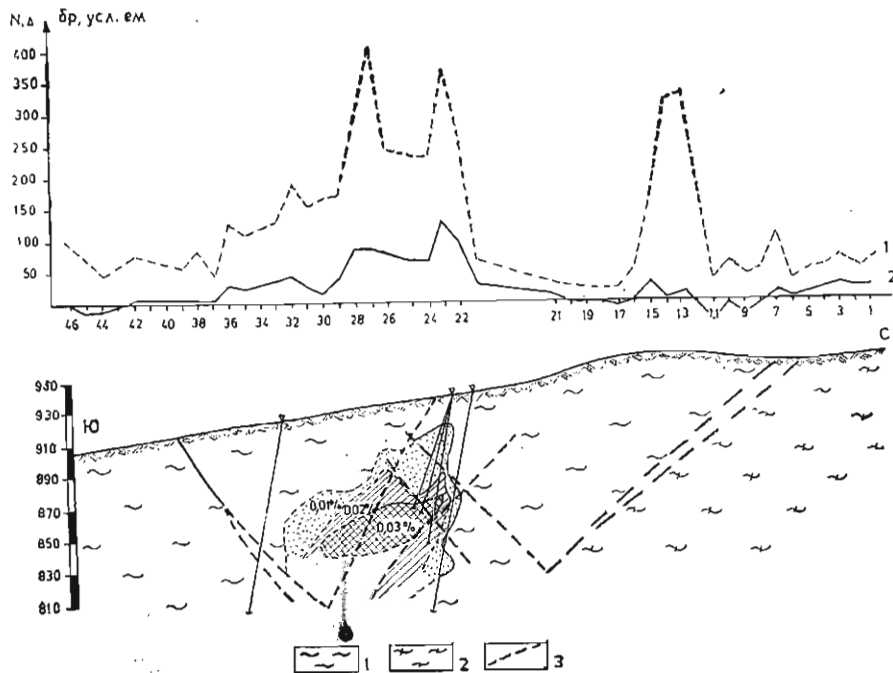
Разстоянието от „рудното тяло“ до пункта на измерване, където концентрацията на еманацията е равна на $\frac{1}{2} N_0$, ще бъде $H = T_{1/2} v$; $\frac{1}{4} N_0$ при $H = 2 T_{1/2} v$ и т. н.

По данни на американските изследователи Gingrich и Fisher (1976) скоростта на миграция на радона заедно с потока вода и газове, обусловен главно от геотермичния градиент (движение на водата и газа към по-хладни и с по-малко налягане участъци, т. е. движение предимно по вертикалата нагоре), може да достигне няколко (1—5) метра в денонощие.

За удобство на изчисленията са съставени номограми, свързващи трите параметъра — H , q и N (фиг. 3), където H е дълбочина до рудното тяло в m ; q — съдържание на уран в %; N — концентрация на радона в емани. Торонът в изчисленията не се взема пред вид, защото при $T_{1/2} = 54,5$ s той напълно се разпада на разстояние няколко сантиметра от източника.



Фиг. 2. Зависимости на концентрацията на радона: а — от съдържанието на уран в рудното тяло и дълбочината до него, индекси на линиите — скорост на пренасяне на радона; б — в рудно тяло със съдържание на уран 1% от отношението a/n при $\rho=2,5 \text{ g/cm}^3$ и $C=1$



Фиг. 3. Схематичен геоложки разрез и графици на наблюдавания брой трекове (1) и остатъчните аномалии (2)
 1 — черни глинести шисти (S_1); 2 — тъмносиви вивчести шисти (S_2); 3 — тектонски нарушения

Описание на номограмите

А. Основна номограма. Лявата вертикална скала $N_{Rn}(A)$ е подвижна. A — дълбочинна съставяща на концентрацията на треконите, преведени в усл. емани, представлява концентрацията на еманацията, достигнала точката на измерване.

Дясната вертикална скала N/N_0 — концентрация на еманацията в части от единиците на първоначалната (на нивото на „рудното тяло“ — източник на еманацията); U — съдържание на уран в рудното тяло в %. Линиите с индекси 1, 2, 3, 4, 5 отразяват скоростите на миграция на радона в метри за денонощие.

Б. Спомагателна номограма. С помощта на нея се изчислява концентрацията на еманацията в „рудното тяло“ със съдържание на уран 1% (N'_0) при различни съотношения на параметрите α_{Rn} и η при $\rho=2,5 \text{ g/cm}^3$ и $C=1$. Номограмата обхваща диапазон на значенията α и η от 0,05 до 0,5, т. е. α/η от 0,1 до 10, като най-характерни стойности за α и η са съответно от 0,2 ÷ 0,4 (Н о в и к о в, К а п к о в, 1974).

Ще покажем на конкретни примери работата с номограмите. Възможни са три ситуации:

1. Известни са N и H . Необходимо е да се оцени съдържанието на урана в „рудното тяло“, т. е. $q=?$

2. Известни са N и q , $H=?$

3. Известни са q и H , $N=?$

Пример 1

$N=125$ усл. емана, $H=20$ m, $q=?$

1. Поставят се 125 см от подвижната скала срещу точката на пресичане на линията, например 3 с линията на дълбочината — в нашия случай $H=20$ m (т. А). По същата скала се определя концентрацията на нивото на рудното тяло ($H=0$)— $N_0=400$ ем. (т. О).

2. За избраните параметри α и η , например $\alpha=0,1$ и $\eta=0,4$, т. е. $\alpha/\eta=0,25$, по палетка „б“ се определя концентрацията на еманацията на нивото на „рудното тяло“ със съдържание 1% — $N'_0=22\ 000$ ем.

3. Срещу т. О се поставят 22 000 ем. от подвижната скала и по стойността 400 ем. се определя съдържанието на неподвижната вертикална скала — $q=0,018\%$.

Пример 2

$N=200$ ем., $q=0,1\%$, $H=?$

1. За параметрите α и η ще допуснем същите стойности — $\alpha=0,1$ и $\eta=0,4$, и по палетката „б“ определяме $N'_0=22\ 000$ ем.

2. При $q=0,1\%$ $N_0=2200$ ем.

3. Поставяме 2200 ем. в т. О и от точка със стойност 200 ем. прокарваме хоризонтална линия до пресичането ѝ с една от линиите, например 4 — т. В.

Перпендикулярът от т. В към скалата на дълбочината дава $H=53$ m.

Пример 3

Известно е рудно тяло със съдържание на уран $q=0,05\%$ на дълбочина $H=30$ m. Каква ще бъде очакваната аномалия, т. е. $N=?$

1. За $\alpha/\eta=0,25$ по палетка „б“ $N'_0=22\ 000$ ем.

2. По вертикалната скала за $q=0,05\%$ се определя $N_0=1100$ ем.

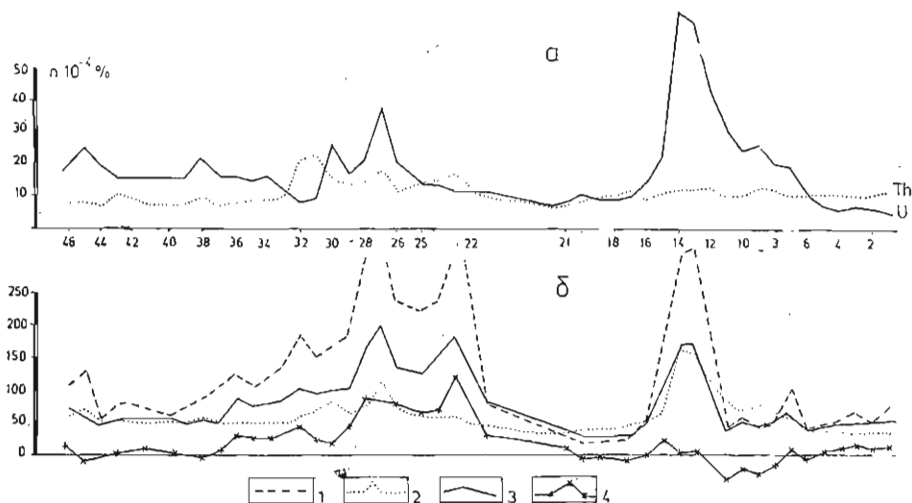
3. Поставят се 1100 ем. в т. О. От линията на дълбочината $H=30$ се издига перпендикуляр до пресичане с някоя от линиите — например 3 в т. С. Срещу последната по вертикалната подвижна скала определяме $N=180$ ем.

Резултати от опитно-методичните изследвания

За оценка ефективността на еманационния треков метод в конкретни геоложки условия и разработка на методи за интерпретация на резултатите през 1977 г. се проведеха опитно-методични изследвания в наши условия. Изследванията бяха направени по няколко профила на участъци, изградени от палеозойски седименти и интрузивни скали и достатъчно добре изучени с минни и сондажни работи. Разстоянието между точките на наблюдение в зависимост от природните условия по някои от профилите е неравномерно — 10—20—50 m. Наблюденията са съгъстявани при преминаване над интересни в геолошко отношение участъци — тектонски нарушения, минерализирани зони, стратиграфски и литоложки контакти, известни рудни тела. Наблюденията са провеждани в ямки с дълбочина 0,6 m. Като твърдотелен диелектричен детектор за регистриране следите от алфа-частици е използвана филмова лента тип „Свема-65“ — съветско производство.

На фиг. 3 и 4 са изобразени резултатите от проведените изследвания по един профил. Орудяването се локализира във въглищно-глинести силурски шисти. Структурният контрол се осъществява от възел на съчленение на полегати и послойни тектонски нарушения със западаща тектонска зона. Рудното тяло се разполага на дълбочина 50—70 m и не излиза на земната повърхност. Околорудният ореол на повишено съдържание на метал се разполага на дълбочина 20—40 m от повърхността. На профила са зафиксирани две контрастни аномалии по ЕТМ (ПКПК-12-15 и ПКПК 22-35). За обяснение на тяхната природа бе направен опит да се изчисли дълбочинната съставяща (Δ) от общата сумарна концентрация на еманацията.

Значенията на Δ , построени на график, много добре отразяват разпределението на орудяването, което се вижда на фиг. 2 и 4. От тези графици става ясно, че аномалията, получена по ЕТМ в района на ПКПК 12-15, отсъствува в значенията на Δ , т. е. тя е напълно обусловена от полишените съдържания на уран и торий в повърхностния слой, а не от източник на



Фиг. 4. а. Графици на съдържанието на уран и торий в почвения слой, измерени с гамаспектрометър СП-3М (фиг. 1б); б. Графици на първичните и обработени данни от гамаспектрометричните измервания и ЕТМ

1 — наблюдавани трекове, бр/мм²; 2 — концентрация на еманацията (Rn+Th), изчислена по данни от гамаспектрометрията, экв. см.; 3 — трансформирана крива на трековете, усл. см.; 4 — крива на остатъчните аномалии, Δ , усл. см.

еманация в дълбочина. В същото време над рудното тяло и неговия ореол в района на ПКПК 22-35 се наблюдава интензивна остатъчна аномалия на значенията на Δ . Направените изчисления за случая, отразен на фиг. 4, дават за стойността на $v_{Rn}=3,5$ m/d.

Изводи и препоръки

1. Както вече споменахме, изложените разчети са верни за изотропна местваща среда. Следва да се очаква количествено и пространствено изкривяване картината на разпределение на трековете от степента на наситеност на разреза от тектонски нарушения, пукнатини и степента на тяхната проницаемост. Друг съществен фактор, влияещ на численото съответствие на теоретичните разчети и практическите резултати, е съответствието (или несъответствието) на приетите значения на коефициента на еманиране и пористост. За достоверност при интерпретация на резултатите е необходимо провеждането на комплекс от работи, включващ оценка на тези параметри по образци от сондажна ядка и минни изработки, определяне скоростта на миграция на радона над известен руден разрез, определяне коефициента на еманиране на повърхностните рахли отложения по пътя на провеждане на едно-временни еманационни и гама (или гама-спектрометрични)-измервания по известна методика (Новиков, Капков, 1974). Последните са необходими за правилно отчитане на „повърхностната съставяща“ и произтичащото оттук „градуиране“ стойностите на трековете. Тези изследвания би следвало да се провеждат предимно в нормално поле.

2. Направеният опит за изчисляване на дълбочинната съставяща при ЕТМ и получените резултати (фиг. 4) показват, че това дава възможност да се усъвършенствува методиката и интерпретацията на ЕТМ и по-еднозначно да се тълкуват тези резултати. Оттук следва и важният извод, че ЕТМ трябва да се провежда в комплекс със спектрометрична гама-снимка.

3. Получените резултати показват, че този метод има значително по-голяма дълбочинна възможност от известните радиометрични методи и може широко да се прилага в нашата практика за търсене и прогнозиране на рудни тела, залягащи на по-голяма дълбочина и нямащи непосредствен изход на повърхността.

4. За по-широкото прилагане на този метод в практиката е необходимо да се усъвършенствуват способите за броене на трековете, което засега представлява един доста трудоемък процес.

5. Предлаганата методика на интерпретация позволява значително да се намали нееднозначността на резултатите от ЕТМ, обективно да се оцени ефективността на метода и в крайна сметка да се повиши ефективността и качеството на търсещите работи.

Л и т е р а т у р а

- Новиков, Г., Ю. Капков. 1974. *Радиометрические методы разведки*. Л., Недра. 758 с.
- Gingrich, J., J. Fisher. 1976. The track etch method. — In: *Uranium exploration using. Exploration for uranium ore deposits*. Proceedings of a symposium. Vienna. 810 p.

(Постъпила на 8. I. 1981 г.)