

## **Изотопы 210-Po, 210-Pb, 234-U, 238-U как индикаторы уранового оруденения.**

**Стародубов А.В.<sup>1</sup>, Гулынин А.В.,<sup>1</sup> Зуев Д.М.<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup> ФГУП «ВИМС» им. Н.М. Федоровского, Москва, [lab@u238.ru](mailto:lab@u238.ru)**

Естественные радиоактивные изотопы 210-Po, 210-Pb, 238-U, 234-U, источниками которых является урановое рудное тело, мигрируя от первоисточника, могут образовывать вторичные ореолы накопления в различных компонентах окружающей среды (почвы, грунты, подземные и поверхностные воды, растительность). Таким образом, обнаружение аномальных значений вышеперечисленных радионуклидов в представительных для опробования природных средах может использоваться как поисковый критерий при работах по разведке урановых руд.

Наиболее часто, как индикатор уранового оруденения, используют определение повышенных значений валового содержания урана (природной смеси изотопов 234-U; 235-U; 238-U). На этом принципе основан уранометрический метод и его вариации. Из-за аналитических особенностей определения неразделённой смеси изотопов природного урана фактически определяется один его изотоп — 238-U, информация об остальных изотопах смеси теряется. Из-за громадного периода полураспада 238-U (4,47E9 лет), геохимический фон урана в почвах может сильно варьировать, а сформированные рудным телом аномалии зачастую имеют слишком большие размеры [1]. Для уменьшения этих негативных эффектов используют выделение из почв подвижных форм урана [4]. В БФ «Сосновгеология» применяют уранометрию в поверхностных водах для поиска урановых месторождений на территории Витимского урановорудного района.

В лаборатории изотопных методов анализа ФГУП «ВИМС» был апробирован вариант раздельного определения изотопов урана в почвах над известными рудными телами (рудопроявление Дулесминское, Витимского урановорудного района) методом альфа-спектрометрии с предварительным радиохимическим выделением [5]. При этом были обнаружены аномально высокие значения соотношений между удельной активностью 234-U и 238-U. В почвах над рудным телом активности 234-U в 2 — 4 раза выше, чем 238-U. Это связано с более высокой миграционной способностью 234-U и значительно меньшим периодом полураспада (2,45E5 лет), по сравнению с 238-U. Использование вытяжек подвижного урана из этих почв увеличивает соотношение между 234-U и 238-U до 6 раз. Таким образом «усиливается сигнал» от залегающего на глубине в десятки и первые сотни метров рудного тела. Соотношения между 234-U и 238-U в пробах почв с заведомо фоновых участков профилей на этом участке около 1.

Радиохимическое выделение урана из почв с последующим измерением счётного образца на альфа-спектрометре даёт высокоточные значения активности изотопов урана, но является относительно трудоёмким и дорогостоящим. Поэтому данный способ используется в нашей лаборатории как дополняющий изотопно-почвенный метод (ИПМ), то есть изучение концентраций и соотношений 210-Po и 210-Pb.

Изотопно-почвенный метод был разработан для поиска глубоко залегающего уранового оруденения в лаборатории изотопных методов анализа ВИМСа под руководством Владимира Ильича Малышева в 80х годах. В 1984 году на него было получено авторское свидетельство [2,3]. В 2005 году ИПМ был модернизирован и адаптирован под современную измерительную аппаратуру и более совершенные методики выполнения измерений.

В изотопно-почвенном методе признаком наличия уранового оруденения на глубине являются совпадающие аномалии содержания и отношения 210-Po и 210-Pb в представительном для опробования почвенном или подпочвенном горизонте. Чаще всего, опробование производится из иллювиального почвенного горизонта с глубины не менее 35

см от дневной поверхности. Это позволяет уменьшить влияние изотопов  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  поступающих в почву из атмосферы. Это особенно важно при небольшой разнице значений активности этих изотопов в фоновых и надрудных участках (до сотни Бк).

$^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  как индикаторы уранового оруденения имеют ряд преимуществ, по сравнению с другими изотопами ряда  $^{238}\text{U}$  – небольшие периоды полураспада (138,4 суток для  $^{210}\text{Po}$  и 21,3 года для  $^{210}\text{Pb}$ ) при наличии связи с материнским изотопом через газообразный  $^{222}\text{Rn}$  (3,82 суток). Кроме того, являясь различными химическими элементами,  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  мигрируют в геологической среде с различной скоростью, фракционируясь на геохимических барьерах. Сочетание этих качеств позволяет фиксировать над рудными телами локальные аномалии содержания этих изотопов, с соотношениями между ними ( $^{210}\text{Po} / ^{210}\text{Pb}$ ) до 1,5 — 5. В зависимости от климатических и геологических условий, влияющих на условия миграции этих изотопов и эманацию  $^{222}\text{Rn}$  из рудного тела, подтвержденная глубинность ИПМ может составлять до 350 метров.

В настоящее время ФГУП «ВИМС» совместно с ФГУП БФ Сосновгеология используют ИПМ при поисковых работах на месторождениях палеодолинного типа (Витимский урановорудный район), вулканогенно-осадочного типа (Акитканский участок); и совместно с ОАО Сосновгео на месторождении типа несогласия (участок Ничатка).

При наличии соответствующих условий, радионуклиды активно вымываются из рудного тела подземными водами. При этом вокруг месторождений образуются аномалии содержания и соотношения  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  (при превышении активности  $^{210}\text{Po}$ ) в подземных водах протяженностью от 0,5 до 2 – 3 км. Аналогичные значения получены и для изотопов урана — активность  $^{234}\text{U}$  до 3 раз выше, чем  $^{238}\text{U}$  в аномалиях рудного генезиса [1]. На размеры и интенсивность изотопных аномалий в подземных водах огромное влияние оказывают такие факторы как генетический тип руды, содержание в ней  $^{238}\text{U}$ , скорость и направление водных потоков.

Достигая приповерхностных вод и почвы, радиоактивные изотопы включаются в биологические процессы и накапливаются растительностью. На выявлении взаимосвязи между значениями активности радионуклидов и урановым оруденением основан радиобиогеохимический (флорометаллометрический) метод.

По полученным в нашей лаборатории данным, в таёжно-мерзлотных условиях, наилучшим растением-накопителем  $^{210}\text{Po}$  является берёза карликовая (*Betula nana*), что связано со способностью к поглощению этим растением элемента селена (Se), биогенного аналога полония. В среднем, активность  $^{210}\text{Po}$  в сухой массе этого растения в 8 раз выше, чем в почве на которой оно произрастает. Для  $^{210}\text{Pb}$  наиболее мощным растением-накопителем среди опробованных нами является багульник болотный (*Lédum palustre* L.) - среднее значение коэффициента биологического поглощения для него составило 13.

Для изотопов урана значения коэффициента биологического поглощения больше 1 были обнаружены лишь в низших формах растительности — мхах и лишайниках. Высшие формы растений накапливают уран слабо, с коэффициентами биологического поглощения  $10^{-2}$  –  $10^{-3}$ .

Однако, из выше перечисленных растений практическую значимость для поисков урановой руды в Витимском урановорудном районе представляет лишь берёза карликовая. Значения активности радиоизотопов в багульнике и низших растениях не показывают достоверной корреляции с проекциями на дневную поверхность известных рудных тел. Это связано с преимущественными путями поступления радиоизотопов в эти растения: аэральный, для  $^{210}\text{Pb}$  в багульник болотный; аэральный для  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  во мхи и лишайники; непосредственно из субстрата для  $^{234}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  во мхи и лишайники.

В настоящее время лабораторией изотопных методов анализа ФГУП «ВИМС» (руководитель А.Е. Бахур, доктор геол.-мин. наук) продолжают поисковые исследования новых эффективных критериев, основанных на соотношениях изотопов  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  в приповерхностных частях геологического разреза и в подземных водах.

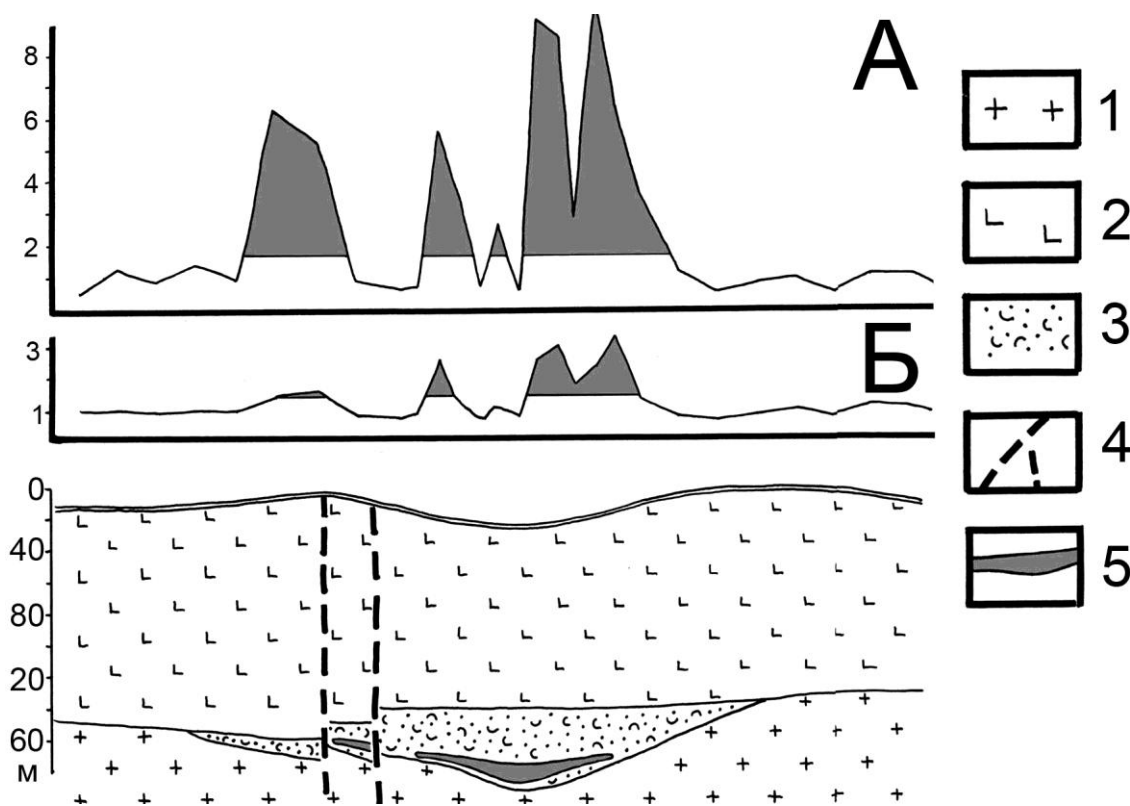
Результаты исследований, выполненных нами на территориях, где оруденение

перекрыто покровом базальтов и зоной вечной мерзлоты, показывают, что метод ИПМ позволяет выявлять «слепые» рудные тела.

В настоящий момент мы не можем судить о качестве и масштабах оруденения на основании лишь данных ИПМ. В связи с апробированной возможностью эффективной фиксации изотопно-почвенным методом урановорудных тел, мы предлагаем этот метод для производственных организаций, осуществляющих поисковые и поисково-оценочные работы.

Литература:

1. Бахур А.Е. Научно-методические основы радиоэкологической оценки геологической среды: Автореф. Дис. ... д-ра геол.-мин. наук/Бахур Александр Евстафьевич. - М., 2008.- 48 с.
2. Малышев В.И., Соколова З.А., Бахур А.Е. и др. Способ поисков месторождений / Авторское Свидетельство СССР № 215783, заявка класс G01V5/00 № 3087677/24-25 с приоритетом от 23.04.84 г. – 1984.
3. Малышев В.И., Соколова З.А., Салмин Ю.П. и др. Способ оценки радиогидрогеологических аномалий /Авторское Свидетельство СССР № 182502 с приоритетом от 06.10.81 г. – 1982.
4. Методические рекомендации по применению комплекса методов геофизики и геохимии для прогноза и поисков месторождений урана в осадочном чехле (проект). Колл. Авторы, отв. Исп. Голомзин В.Е. // С-Пб., ВИРГ-Рудгеофизика, 1999.
5. Методика выполнения измерений удельной активности изотопов УРАНА (234,238) в почвах, грунтах, горных породах и строительных материалах на их основе альфа- спектрометрическим методом с радиохимическим выделением / Свидетельство ЦММИ ГНМЦ ВНИИФТРИ Госстандарта РФ № 49090.3Н627 от 18.12.2003 г.; Свидетельство НСАМ № 433-ЯФ, Москва, ВИМС, 1999 г. (2-я редакция). Утверждена Директором ЦММИ ГНМЦ ВНИИФТРИ Госстандарта РФ В.П. Ярыной 07.05. 1999 г.; утверждена Председателем НСАМ МПР России Г.В. Остроумовым 12.05.1999 г.



**Рисунок 1.** Пример использования ИПМ при поисках месторождений урана в захороненных палеодолинах. А- мультипликативный показатель  $Po-210 \times Pb-210$ ; Б - изотопный показатель  $Po-210 / Pb-210$ . 1 — граниты; 2 — базальты; 3 — туфогенно-осадочная толща; 4 — тектонические нарушения; 5 — рудное тело.