

Разведка урановых месторождений и ее технология: Сохранение „ноу-хау,,

Ситуация на рынке открыла новые возможности применения накопленных данных и опыта для решения проблем защиты окружающей среды и других вопросов

Артур Ю. Смит и Мохамед Таучид

Во время энергетического кризиса 1973 г. и после него многие страны мира расходовали крупные суммы денег на разведку месторождений урана – основного источника топлива АЭС.

Одновременно с этим велись интенсивные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области методов разведки урановых месторождений, обусловившие большой прогресс в повышении их чувствительности и точности. После 1980 г. в этой деятельности начался спад, а к 1984 г. расходы на разведку урана в странах ВОСА* снизились до уровня 10-летней давности (см. соответствующий рисунок).

Свертывание работ по разведке урановых месторождений имело очень важные последствия: оно несло с собой угрозу потери знаний и специального опыта, а именно разведочных данных, накопленных за годы „бума“, и уменьшение масштабов использования хорошо отработанных методов разведки урановых руд. Из-за отсутствия перспектив специалисты в области разведки урановых месторождений начали уходить из отрасли, а с ними ушли знания, мастерство и опыт применения этих методов. Эта ситуация характерна как для правительственных организаций, так и для коммерческих геолого-разведочных групп.

К счастью, в некоторых случаях методы и данные предыдущих работ по разведке урановых месторождений нашли применение в других важных об-

ластях. Была продемонстрирована, например, возможность их использования для решения общих проблем защиты окружающей среды, а также в науках о земле и разведке многокомпонентных полезных ископаемых.

Для понимания диапазона областей возможного применения этих методов будет полезен их краткий обзор.

Разведка урановых месторождений

Разведка месторождений урана, как и разведка других полезных ископаемых, представляет собой деятельность, разбитую на фазы и этапы. Эти фазы отличаются друг от друга размерами территорий, которые они охватывают. Таким образом, первая фаза, или предварительная разведка, заключается в быстром и с небольшими расходами изучении очень больших территорий – порядка нескольких десятков тысяч квадратных километров. Совершенно очевидно, что цель такой деятельности не заключается в открытии „месторождений“. Ее цель состоит, скорее, в обнаружении и определении районов в изучаемом регионе, где имеются более значительные потенциальные возможности открытия месторождений. Это делается с помощью широкомасштабного картирования признаков и характеристик окружающей среды, которые, как правило, сопутствуют месторождениям урана – повышенные уровни радиоактивности, концентрации урана и других радиоактивных и нерадиоактивных элементов в почве, осадочных отложениях, твердой породе и воде.

В силу того, что шансы обнаружить промышленные месторождения урана на стадии предварительной разведки бесконечно малы, были разработаны

Г-да Смит и Таучид являются штатными сотрудниками Отдела ядерного топливного цикла МАГАТЭ.

*ВОСА – государства, не входящие в число стран с централизованно планируемой экономикой.

методы, обеспечивающие получение максимальной информации при очень низких издержках и с очень высокой степенью надежности. С помощью высокочувствительных гамма-спектрометров, устанавливаемых на борту самолета, пролетающего над исследуемой территорией, проводится очень быстрое картирование радиоактивных элементов (урана, тория и калия), а также общей активности. В районах повышенной радиоактивности или концентрации радиоэлементов могут быть взяты пробы грунта, которые затем будут проанализированы на предмет содержания соответствующих элементов. Окончательный масштаб карты непосредственно зависит от площади района изысканий и плотности точек пробоотбора.

Таким образом, эти данные приближаются к истинным данным о содержании полезных ископаемых. Однако совершенно ясно, что оконтуренные районы отражают реальные широкомасштабные геологические и поверхностные характеристики и признаки окружающей среды. В рамках последующих фаз программы разведки урановых месторождений проводится повторный, более тщательный анализ этих широкомасштабных признаков в целях повышения точности приближения и „концентрации” внимания на потенциальных месторождениях урана.

Важно понимать, что геологоразведочные данные имеют пространственный характер, т.е. они получены с помощью аэросъемки. Методы, используемые для их сбора, предназначены для получения пространственно распределенной информации. Отдельное измерение, проведенное в рамках программы разведки урановых месторождений, независимо от его точности и прецизионности, не имеет никакой ценности для отображения пространственных характеристик. Именно благодаря этому аспекту методы и данные разведки урановых месторождений высоко ценятся в других областях.

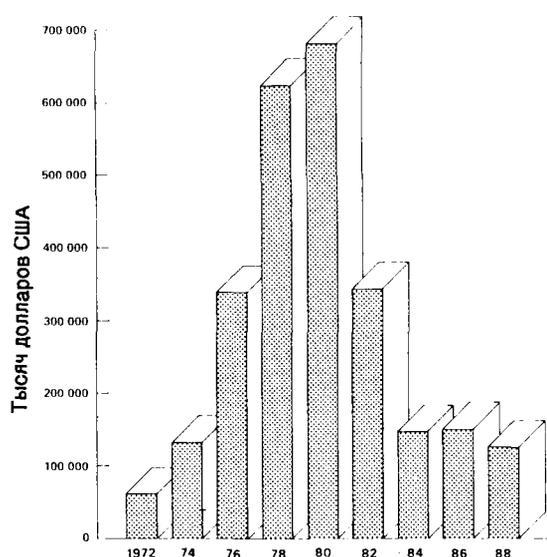
Методы разведки урановых месторождений

Среди наиболее широко используемых методов разведки урановых месторождений методы гамма-спектрометрической аэросъемки получили, вероятно, наибольшее развитие во время уранового „бума”. Разработка крупных детекторных приборов, многоканальных анализаторов, способных регистрировать данные по 256 и даже 1024 каналам, а также методов цифровой регистрации и обработки данных позволила создать геологоразведочные установки с высокой чувствительностью и гибкостью.

Эти радиометрические „геохимические виды анализа” проводятся с борта самолета, летящего на высоте 50–150 метров, а их чувствительность позволяет обнаружить концентрации урана и тория в земле под пролетающим самолетом, равные одной или двум частям на миллион.

Для достижения такого уровня чувствительности детектирования необходима тщательная калибровка оборудования, и в последние годы значительные усилия во многих странах были направлены на создание и применение таких калибровочных установок. Ранее приборы уранометрической съемки с подсчетом полезного компонента, а также гамма-спектрометры, использовавшиеся для аэросъемки, калибровались не так тщательно, а иногда и вообще не

Затраты на разведку в государствах WOCA, 1972–1988 гг.



WOCA – государства, не входящие в число стран с централизованно планируемой экономикой

калибровались. В настоящее время разрабатываются методы посткалибровки ранее полученных данных до приемлемого уровня.

Важную роль в разведке урановых месторождений играли также и геохимические методы. Пробы воды, речных или озерных отложений или почвы отбираются через большие интервалы – порядка одной пробы на 10–15 км², затем они анализируются с помощью недорогих экспресс-методов, дающих возможность обрабатывать несколько сот проб в день. Эти методы позволяют определить содержание урана и сопутствующих ему элементов, таких, например, как молибден, золото, мышьяк, ртуть и ванадий, наряду с содержанием меди, свинца, цинка и других элементов, которыми потенциально может быть богат данный район. Эти данные не рассматриваются отдельно по каждому элементу – с помощью сложных компьютеризованных методов их объединяют и составляют карты распределения элементов, охватывающие крупные территории.

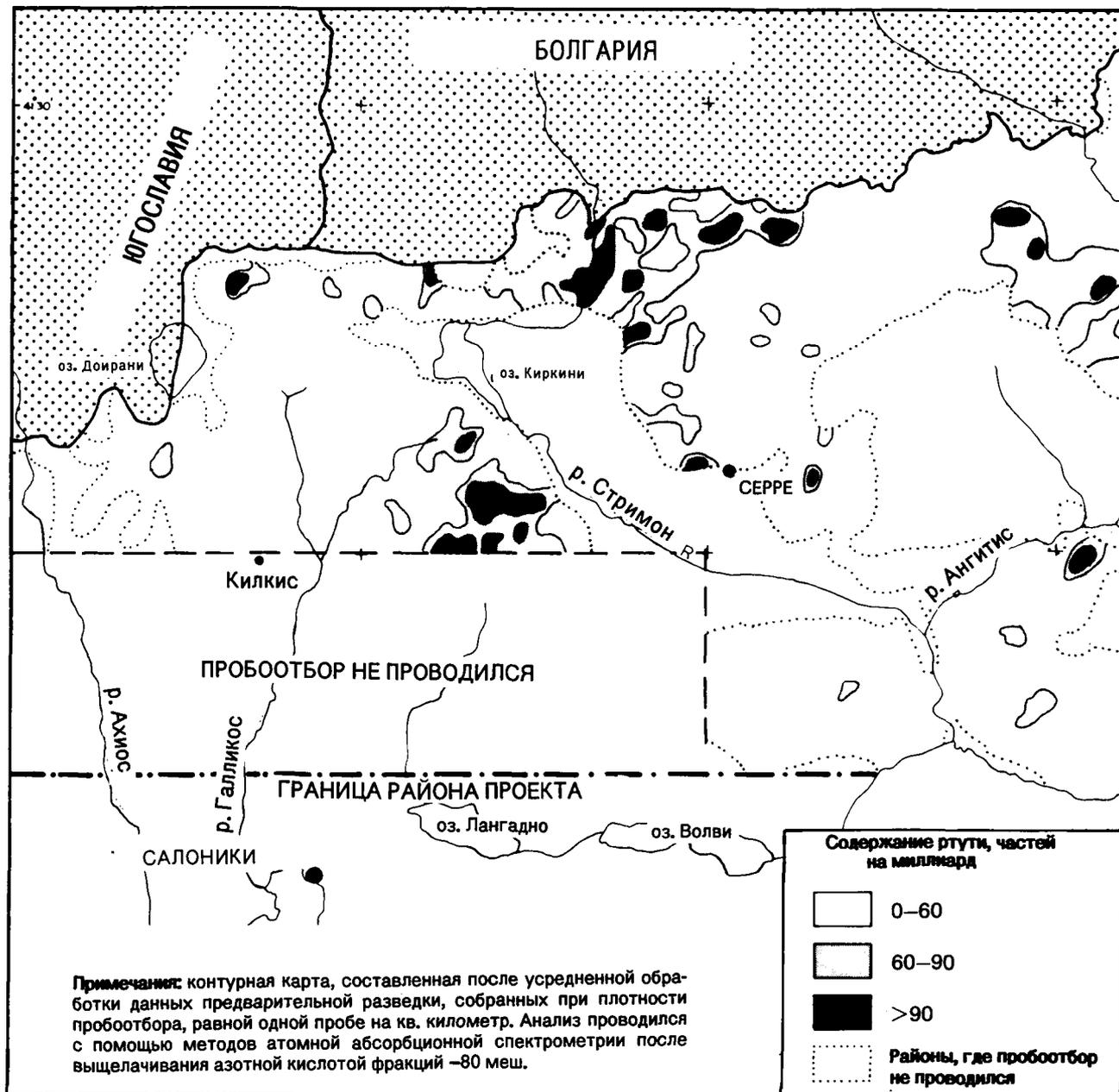
Довольно широкое применение в программах разведки урановых месторождений получили радоновые методы. Проведение измерений содержания радона в рамках этих программ обусловлено тем фактом, что он сопутствует материнскому элементу – урану. Эта связь приобрела очень важное значение после обнаружения аномальных концентраций радона в жилых домах, построенных в богатых ураном районах. Во многих странах наиболее распространённым методом детектирования и измерения содержания радона внутри жилых домов является метод детектирования следов альфа-частиц (трековый детектор травления). Он был разработан

в основном для целей разведки урана, однако также нашел широкое применение, в частности в США, в исследованиях по прогнозированию землетрясений.

Данные разведки урановых месторождений

Разведка на уран проводилась на обширных территориях государств ВОСА. Как правило, это была радиометрическая аэросъемка, определявшая общую радиоактивность, или гамма-спектрометрическая аэросъемка, позволявшая проводить отдель-

ные измерения радиоактивности, обусловленной ураном, торием или их дочерними элементами и калием. Последние аэросъемки проводились, как правило, с помощью хорошо откалиброванных спектрометров, однако в первые годы реализации этой программы такая калибровка проводилась не очень тщательно или не проводилась вообще. Широко использовалась уранометрическая съемка с подсчетом полезного компонента. Несмотря на различное качество данных, полученных во время более ранних съемок, они, тем не менее, дают общую картину фонового излучения района. После перекалибровки и пересчета в единицы мощности дозы данные ра-



В рамках проекта по разведке урановых месторождений на севере Греции с помощью МАГАТЭ было проведено картирование обширных районов с аномальным содержанием ртути в осадочных отложениях. Благодаря большому значению

данных о концентрациях ртути для защиты окружающей среды эти результаты стали играть важную роль с точки зрения здравоохранения, сельского хозяйства и рыболовства.

диометрических съемок, наземных и воздушных, отражают картину общего распределения фоновой радиоактивности в исследуемых районах.

Карты мощности дозы радиационного воздействия фонового излучения были составлены в Канаде, Швеции, США, ФРГ и других странах мира. Их широко использовали в качестве основы для оценки радиоактивного загрязнения, обусловленного деятельностью человека. Кроме того, они нашли широкое применение в определении районов возможного радонового загрязнения жилых домов.

Последние проекты научно-технического сотрудничества МАГАТЭ в области разведки урановых месторождений с помощью гамма-спектрометрических аэросъемок, например, в Сирии, включали в себя перерасчет и представление результатов в виде карт фонового излучения.

Аэрокартирование районов с незначительными отклонениями в содержании калия позволили выявить районы отклонений, связанных зачастую с оруднениями золота и меди. Общая геологическая информация гамма-спектрометрических съемок содействовала тому, что эти методы стали важным компонентом процесса геологического картирования во многих странах мира. Было обнаружено, что богатые ураном районы, легко картируемые с помощью аэросъемок, связаны с повышенной концентрацией радона в жилых домах, нередко достигающей уровней, опасных для здоровья человека.

Кроме того, методы гамма-спектрометрических аэросъемок продемонстрировали свою важную роль и в случае ядерных аварийных ситуаций. В 1978 г. после падения советского спутника „Космос-954“ радиоактивные обломки его ядерного реактора были разбросаны на больших площадях Северо-Западных территорий Канады. Благодаря использованию крупной гамма-спектрометрической системы Геологической службы Канады и помощи ее опытного персонала удалось в кратчайшие сроки обнаружить и осуществить картирование районов разброса ядерных обломков.*

После аварии 1986 г. на Чернобыльской АЭС в Советском Союзе Швеция была первой страной на Западе, подавшей сигнал тревоги. Специалисты Национального института радиационной защиты, обладавшие необходимыми знаниями работы на соответствующих установках и опытом групповой работы, задействовали гамма-спектрометрические аэросистемы Шведской геологической компании. В течение одного дня был переоборудован самолет, с помощью которого были составлены две полные карты распределения радиоактивных выпадений. Их мастерство и навыки проведения аэросъемок, а также опыт подготовки и предоставления геофизических данных сыграли огромную роль и позволили составить полную карту радиоактивного загрязнения, которую получили все жители Швеции. В дополнение к картированию районов радиоактивного загрязнения, которое помогло определить места, тре-



В районе озера Сигар в Канаде расположено крупное месторождение урана, открытое в 1983 г. (Предоставлено: СЕА, Франция)

бовавшие проведения точных измерений и принятия мер по ликвидации последствий, специалисты Шведской геологической компании смогли составить карту выпадений конкретных изотопов, связанных с этой аварией*.

Шведская геологическая компания и Геологическая служба Швеции первыми приступили к разработке методов радоновых измерений в целях разведки урановых месторождений. Их знания и опыт в области радоновых измерений были использованы для оказания помощи, когда стало ясно, что в некоторых районах страны концентрации природного радона в жилых домах могут достичь опасного уровня.

Данные наземной геохимической разведки урана и других элементов, основанные на отборе проб на больших территориях, содержат много важной информации, которую можно использовать в других областях. К их числу относятся сельскохозяйственное землепользование, скотоводство, здравоохранение, а также геологическое картирование и раз-

* "Estimating the Fallout on Great Slave Lake from Cosmos-954", by Grasty, R.L., Trans. Am. Nucl. Soc., Fall Meeting, Washington (12-16 Nov. 1978); and "The Search for Cosmos-954", by Grasty, R.L., in Search Theory and Applications, edited by Heley, K. Brian, and Stone, Lawrence D., Plenum Publishing Corp. (1980).

*См. Airborne Gamma Spectrometer Measurements of Fallout over Sweden after the Nuclear Reactor Accident in Chernobyl, USSR, by Mellender, H., Swedish geological Company, Report TFRAP 8803 (1988).

ведка других полезных ископаемых. В Северной Греции в рамках проекта разведки урановых месторождений, осуществлявшегося с помощью МАГАТЭ, были составлены карты обширных районов с аномальным содержанием ртуты, после чего потребовалось провести их исследование с точки зрения сельского и рыбного хозяйств, а также здравоохранения (см. соответствующий рисунок). Аномальные содержания золота в продуктах обогащения минералов в осадочных отложениях были обнаружены в рамках аналогичного проекта на Филиппинах, который осуществлялся с помощью МАГАТЭ и указал на возможные месторождения золота в данном регионе.

Существует множество примеров таких побочных результатов программ разведки урановых месторождений. Во многих случаях эти преимущества не были реализованы из-за того, что национальные власти не знали о существовании таких данных и их значении. Даже связанные с проблемами атомной энергии организации очень часто не понимают и не ценят по достоинству данные, полученные их группами разведки сырьевых материалов в ходе реализации программ разведки урановых месторождений.

Роль МАГАТЭ

В течение многих лет МАГАТЭ играет важную роль в деле совершенствования и применения методов разведки урана. Проводятся совещания, посвященные научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам в области методов разведки урановых месторождений, публикуются документы о стандартах для контрольно-измерительных приборов и рекомендуемой практике их использования. Кроме этого, в области гамма-спектрометрии Агентство разработало технические условия создания и применения систем калибровки полевых приборов. Оно подготовило серию справочных материалов очень высокого качества по калибровке лабораторных приборов, используемых для анализа геологических материалов.

Осуществляя свою программу научно-технического сотрудничества, МАГАТЭ оказало помощь в поставке чувствительных радиационных детекторов и обучении местных специалистов различным методам разведки урановых месторождений в рамках проектов и учебных курсов. В число этих методов были включены радиометрические и геохимические методы разведки.

Во многих странах мира специалисты по разведке урановых месторождений составляют группу наиболее компетентных и опытных работников, которых можно использовать в ядерных аварийных ситуациях. После аварии на Чернобыльской АЭС в целом ряде стран этот факт получил подтверждение. Кроме того, очень часто такие группы являются единственными подразделениями, имеющими необходимое оборудование и опыт проведения измерений содержания радона в окружающей среде. Продолжают поступать многочисленные просьбы об оказании помощи в этой области от национальных геологических служб и геологических факультетов университетов, а также от групп разведки сырьевых материалов национальных комиссий по атомной энергии.

За последние годы МАГАТЭ сместило акцент с разведки урановых месторождений как таковой на более широкое использование этих методов и данных, полученных в рамках прошлых программ. Так, например, Агентство недавно присоединилось к Международной программе корреляции геологических данных (IGCP) Организации Объединенных Наций по вопросам науки, культуры и образования (ЮНЕСКО) для оказания поддержки новому проекту международного геохимического картирования. Проект направлен на оказание поддержки и координацию сбора и компиляции геохимических данных для составления региональных геохимических карт с конечной целью создания мирового геохимического атласа. МАГАТЭ играет ведущую роль в обработке данных по радиоактивным элементам: урану, торию и калию. Уже начата работа по подготовке руководств по использованию более ранних данных гамма-разведки и методов посткалибровки данных этих съемок. Кроме того, в стадии подготовки находится документ, определяющий новейшие технические условия и методологии проведения гамма-спектрометрических аэросъемок в любых целях, включая работы по ликвидации последствий аварий.

Перспективные направления

По мере уменьшения беспокойства по поводу урановых ресурсов роль МАГАТЭ в разведке урановых месторождений все чаще ставится под сомнение. Очень часто высказывается мнение о достаточности урановых ресурсов и целесообразности направления средств, затрачиваемых на эту деятельность, в другие области.

На самом же деле, вполне вероятно обратная ситуация. Из-за свертывания работ по разведке урановых месторождений возросла роль МАГАТЭ в сохранении данных „ноу-хау“, накопленных за период прошедшего „бума“. Благодаря своему широкому диапазону и значению эта информация стала привлекательной и может оказать значительную помощь другим областям науки об окружающей среде. В то же время существует возможность сохранения опыта и мастерства специалистов геологоразведочного сообщества для удовлетворения будущих потребностей. Кроме того, методы и мастерство специалистов по разведке урановых месторождений продемонстрировали свои потенциальные возможности быстрого реагирования в ядерных аварийных ситуациях, которыми не обладают никакие другие группы.

Должно ли МАГАТЭ, являющееся единственной международной организацией, которая осуществляет деятельность по разведке урановых месторождений и разработку соответствующих методов, а также центром, обладающим специальным опытом более широкого применения данных и методов разведки урана, руководствоваться лишь нынешними условиями уранового рынка? Или оно несет ответственность за оказание содействия и помощи более широкому и более полному использованию средств, выделяемых государствами-членами на деятельность по разведке урановых месторождений?

Ответы на эти вопросы сами по себе станут ключевыми факторами, которые будут определять будущее международное сотрудничество в этой области.