

Применение ядерных методов при разведке, добыче и обогащении полезных ископаемых

Обзор применения наиболее распространенных ядерных методов и деятельности МАГАТЭ в этой области

Рольф Дж. Розенберг и Жак Гизерикс

Полезные ископаемые являются основой энергетики и обрабатывающей промышленности. Издержки добычи сырьевых материалов могут составлять значительную или незначительную часть стоимости конечной продукции. И в любом случае большое значение имеет наличие сырьевых материалов. В развивающихся странах местные сырьевые материалы имеют двойное назначение: они являются прямым источником дохода и естественной основой для развития национальной обрабатывающей промышленности.

Общим знаменателем полезных ископаемых является тот факт, что они относятся к числу невозобновляемых. Даже в настоящее время, когда в большинстве стран мира уровень потребления невысок, запасы некоторых из них близки к истощению. Необходимо предпринять соответствующие меры, если мы хотим гарантировать их наличие в будущем. Нужны более эффективные и экономичные методы разведки и добычи руд, а также эффективные технологии, позволяющие экономить энергию и сырье. Отходы должны повторно использоваться в производственном цикле.

Ядерные аналитические методы обладают огромным потенциалом, способным повысить эффективность разведки, добычи и обогащения полезных ископаемых и сэкономить энергию и материалы. Следовательно, эти методы могут внести свой вклад в национальную экономику и программы развития. К числу их преимуществ относится оперативность и простота применения, очень часто они используются для анализа одного конкретного элемента или нескольких элементов. В некоторых случаях их можно применять в таких местах, где невозможно использовать другие методы, например, в горячей, пыльной или агрессивной средах или когда контрольные измерения нужно проводить через стенки баков или сосудов. Кроме того, с их помощью можно анализировать весь или большую часть технологического процесса, поэтому

Г-н Гизерикс является руководителем Секции промышленного применения и химии Отдела физических и химических наук МАГАТЭ, г-н Розенберг – штатный сотрудник данной секции.

они могут давать более полную картину, чем анализы, основанные на отборе отдельных проб. И, что более важно, результаты можно получать в близком к реальному масштабе времени, что позволяет использовать результаты измерений для управления технологическим процессом в режиме „он-лайн”.

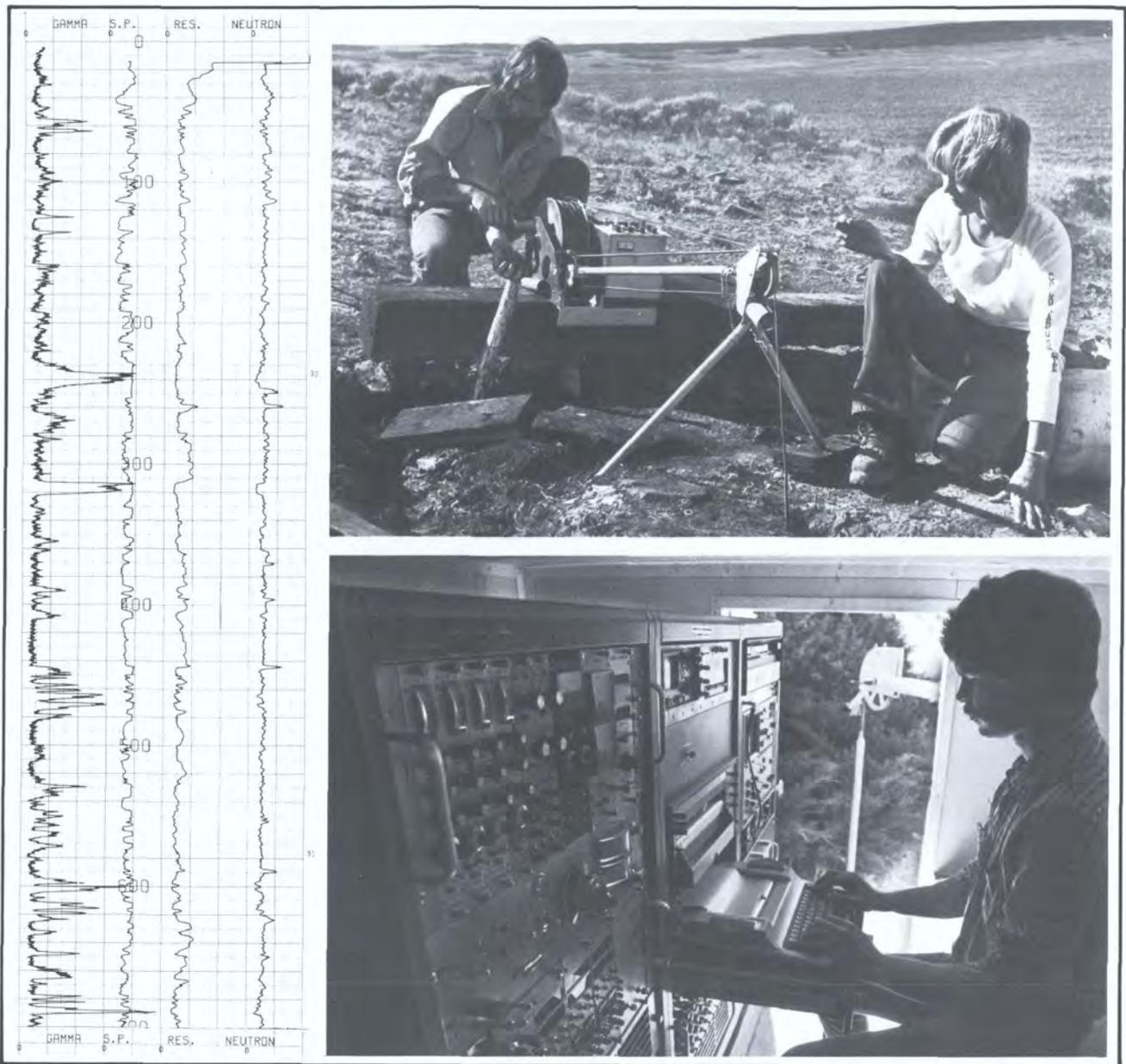
Основные геологические исследования

Все виды разведки полезных ископаемых основываются на общем понимании геологических процессов и геологии конкретного исследуемого района. Ядерные методы особенно выгодно применять для определения возраста пород и получения информации о распределении элементов в различных породах.

Для анализа элементов при проведении основных геологических исследований широко применяется метод нейтронного активационного анализа (НАА). Это один из наиболее чувствительных аналитических методов анализа многих элементов. С его помощью можно анализировать даже очень небольшие и редкие пробы, например, пробы лунного грунта или выделенные минералы. В целом НАА является точным неразрушающим видом анализа, который можно использовать для исследования многих элементов и который легко автоматизировать. С помощью приборов НАА в пробах породы можно определять свыше 40 различных элементов. При анализе проб обычных пород НАА (по сравнению с неядерными методами) наиболее успешно применяется для анализа галогенов, сурьмы, редкоземельных элементов, золота, элементов платиновой группы, урана и тория.

Геохимическая разведка

Химический состав органических и неорганических отложений, растений и воды может отражать состав лежащей под ними породы. Некоторые другие виды отложений могут быть несколько смещены от первоначального местонахождения и



Данные гамма-гамма и нейтрон-нейтронного каротажа, а также оборудование, необходимое для их получения

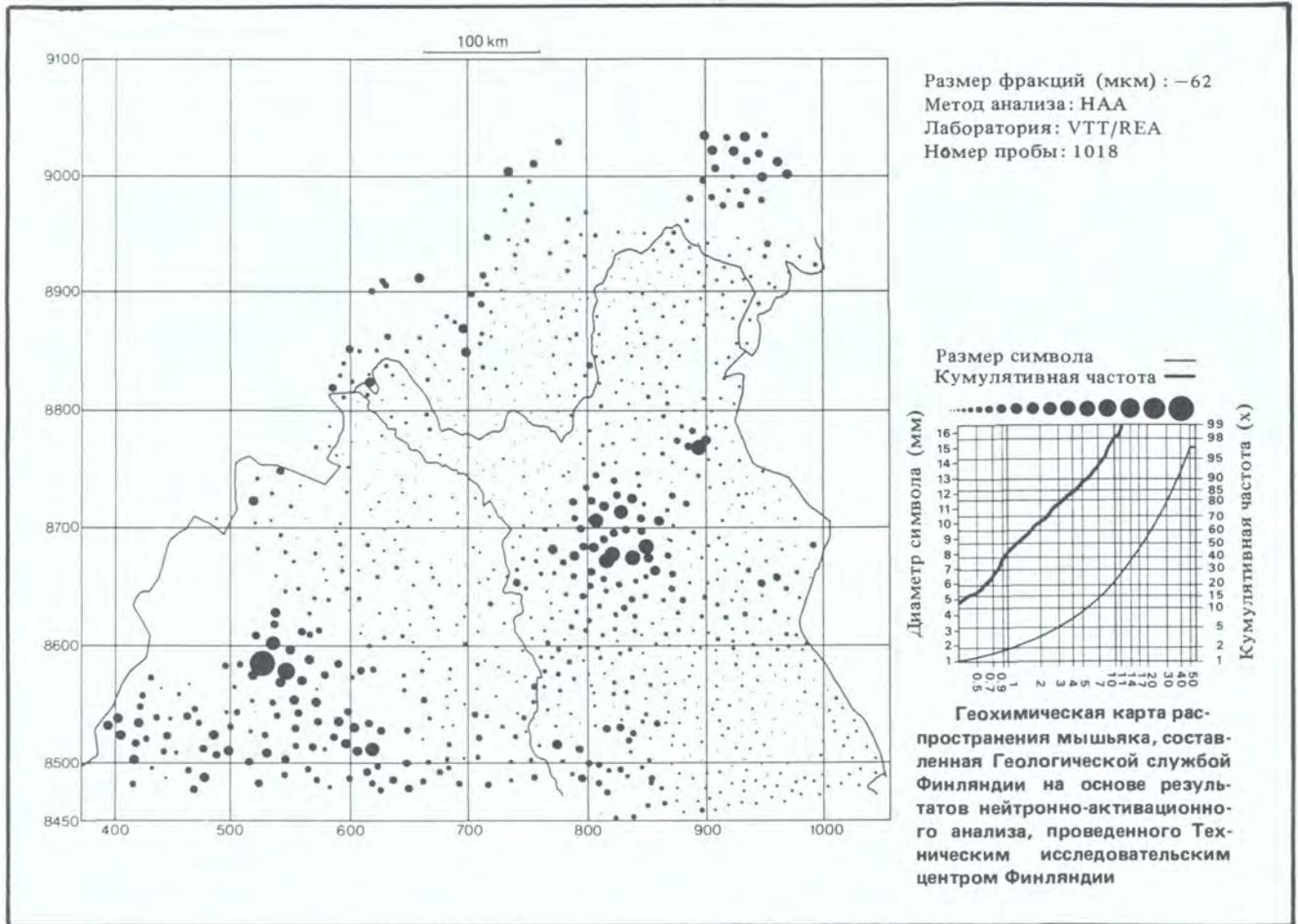
отражать химический состав пород, расположенных где-то на маршруте смещения. Таким образом, элементный состав отложений и воды может использоваться для обнаружения оруднений, разработка которых экономически целесообразна. Как правило, элементы присутствуют в отложениях в концентрациях, измеряемых в частях на миллион, поэтому для их анализа требуются очень чувствительные аналитические методы.

Кроме того, некоторые страны применяют НАА для анализа геохимического состава, особенно золота, платиновых металлов, а в некоторых случаях — урана. Очень часто используются высоко автоматизированные процедуры, которые делают данный анализ недорогим. В некоторых странах, включая Великобританию, Канаду, США и Финляндию, имеются лаборатории НАА, где ежегодно анализируется десяток или несколько десятков тысяч геологических проб.

Геофизическая разведка урана

Уран представляет собой смесь радиоактивных изотопов, которые, распадаясь, образуют ряд дочерних нуклидов. Они также радиоактивны и могут использоваться для обнаружения урановых руд. Один из методов основывается на прямом измерении гамма-активности дочерних нуклидов урана (в частности, висмута-214). Это можно сделать путем простого измерения общего фонового уровня излучения над поверхностью земли или измеряя общую активность поверхности породы или отдельных валунов с помощью переносного поискового гамма-дозиметра. Кроме того, измерения можно проводить, используя гамма-измерительные системы, перевозимые на транспортных средствах или самолетах.

Другой метод основывается на измерении изотопов радона, которые являются продуктами рас-



пада урана. Радон – это очень мобильный инертный газ, который по трещинам в породе поднимается к поверхности земли. Его можно обнаружить, измеряя альфа-активность.

Каротаж скважин

При разведке месторождений нефти и полезных ископаемых для определения целесообразности их добычи необходимо бурить разведочные скважины. Бурение – это всегда дорогостоящий процесс, особенно если речь идет о нескольких тысячах скважин (глубиной 1 м), поэтому от каждой скважины нужно получить максимум возможной информации.

Для проведения лабораторного анализа могут браться керновые пробы. Однако в большинстве случаев быстрее провести анализ на месте. В этих целях было разработано несколько рентгеновских флуоресцентных анализаторов (переносных или перевозимых на транспортных средствах), основанных на рассеивании энергии. Один из очень удобных методов заключается в опускании датчика вдоль скважины и проведении анализа окружающей породы.

В настоящее время в повседневной практике широко используется целый ряд приборов ядерного каротажа скважин, другие находятся на стадии разработки. Наиболее простым методом является каротаж естественной радиоактивности (общий или гамма-спектрометрический). В результате получают прямую информацию об уране, тории и калии, а также косвенную информацию о минеральном составе. Таким образом, например, можно получить информацию об угле, т.к. концентрация радиоактивных элементов в угле отличается от концентрации в окружающей породе.

Другие датчики ядерного каротажа скважин основаны на взаимодействии излучения с окружающей породой. Датчики состоят из источника излучения и защищенного от него детектора. Излучение от источника вступает в реакцию с окружающим материалом, в результате чего характеристики излучения изменяются. Затем проводятся измерения новых характеристик излучения, на основании которых можно сделать выводы о составе породы. Преимущество ядерных излучений заключается в их обычно очень высокой проникающей способности. Таким образом, информацию можно получать и в заполненных водой скважинах и при одновременном анализе очень больших объемов породы.

Гамма-гамма-датчики. Они состоят из источника гамма-излучения и одного или нескольких приборов (сцинтилляционных детекторов), которые могут измерять гамма-излучение. Интенсивность гамма-излучения, отраженного от породы на детектор, зависит от ее плотности, поэтому данный метод наиболее широко используется при разведке месторождений угля и нефти. Плотность угля значительно ниже, чем у окружающей породы, поэтому его легко можно обнаружить с помощью гамма-гамма каротажа. Кроме того, используя этот метод, можно обнаружить изменения в пористости, что делает его полезным при разведке нефте-, газовой или водоносных слоев в породе. Кроме того, можно обнаружить месторождения металлических руд высокой плотности.

Приборы нейтрон-нейтронного каротажа. В настоящее время применяется целый ряд приборов каротажа скважин, основанных на взаимодействии нейтронов с материалами. При взаимодействии быстрых нейтронов с веществом наиболее важными реакциями являются рассеивание и захват нейтронов. В процессах, известных как упругое рассеивание, первоначальная высокая скорость быстрых нейтронов постепенно замедляется. Наиболее сильное замедление происходит в среде, содержащей водород. Содержание водорода можно определить путем измерения потока тепловых нейтронов в процессе облучения породы быстрыми нейтронами. Кроме того, этот метод можно использовать при каротаже на нефть, газ или воду. Обычно он применяется при разведке нефтяных и газовых месторождений. В повседневной практике широко используется несколько различных моделей приборов нейтрон-нейтронного каротажа.

Элементный анализ скважин можно проводить с помощью рентгеновской флуоресценции и метода, называемого „гамма-активационный анализ ней-

тронного захвата”. Ни один из этих методов пока не нашел широкого применения, однако уже идентифицировано несколько очень перспективных областей применения. Особенно успешно гамма-метод можно применять при разведке месторождений угля. Можно определить почти все компоненты угля, а значит провести точный анализ его зольности и теплотворной способности. Кроме того, этот метод можно использовать для каротажа конкретных металлов — хорошие результаты получены в отношении меди и серебра.

Применение ядерных методов при добыче полезных ископаемых

Что касается полезных ископаемых, то ядерные методы, в основном, применяются при добыче урана, угля и нефти. При разработке месторождений урана измерения радиоактивности породы используются для отделения руды от пустой породы и для определения сорта руды. При добыче угля важно знать толщину угольного пласта в штольнях, чтобы избежать добычи пустой породы. Один из наиболее успешно применяемых методов основывается на абсорбции естественного гамма-излучения породы, однако он неприменим в отношении породы-хозяина с низким уровнем радиоактивности. Предпринимались попытки использовать вместо него методы обратного рассеивания гамма-излучения, однако достигнутые результаты были не очень успешными.

Для решения различных проблем, возникающих при добыче нефти, используются радиоактивные индикаторы. Примером могут служить исследования в области добычи нефти путем нагнетания воды в пласт. Если давление в нефтяном пласте слишком низкое, то нефть к поверхности не поднимается.



Геохимические и радиометрические изыскания в Колумбии. Местные геологи повысили свою квалификацию в результате „подготовки на рабочем месте” во время проведения изысканий под руководством эксперта МАГАТЭ.
(Фото М.Точид, МАГАТЭ)

В таких случаях, как правило, нефть вытесняют из пласта путем закачки в него различных жидкостей. Затем эффективность этого процесса изучают с помощью инъекции радиоактивного индикатора в одну из скважин. Подается давление и анализируется перенос радиоактивного индикатора в соседние скважины.

Обогащение руды

Существует несколько возможных путей использования ядерных методов при обогащении руды, добыче и рафинировании металлов, угля и нефти. На различных этапах этих технологических процессов используются системы нуклонного контроля, элементные анализаторы и методы изотопных индикаторов.

При обогащении руды для проведения анализа элементов в режиме „он-лайн” обычно используется ядерный метод рентгеновской флюоресцентной спектрометрии. В мире существует всего несколько компаний, которые предлагают коммерческие рентгеновские флюоресцентные анализаторы; несколько таких установок уже используются на обогатительных фабриках. Технологический процесс можно одновременно анализировать в нескольких точках. Как правило, анализируется, по крайней мере, исходный материал, конечный продукт и хвосты. Обычно применяются две различные системы. В одной системе датчики устанавливаются в контейнеры или трубы основного технологического процесса. В другой осуществляется автоматический отбор проб, которые по трубам доставляются к анализатору. Используя один датчик можно проводить анализ нескольких элементов.

С помощью ядерных методов (а именно абсорбции и рассеивания гамма-излучения) можно измерять уровень заполнения материалом закрытого контейнера. Первый из этих методов более эффективен, однако, если доступ к контейнеру возможен лишь с одной стороны или диаметр контейнера слишком велик, можно использовать метод обратного рассеивания. Обычно эти методы используются для автоматического контроля за уровнем заполнения печей, баков-хранилищ и транспортных устройств. Методы гамма-абсорбции можно применять в тех случаях, когда температура, коррозионные материалы или физическое состояние материала не позволяют использовать другие методы.

При постоянном диаметре технологических каналов, например, труб абсорбцию гамма-излучения можно использовать для измерения плотности материала. Если известен расход смеси воды и основной массы руды, можно проводить прямые измерения количества транспортируемой руды. Кроме того, для определения плотности непосредственно в пульпу можно поместить специальные датчики. В нормальных условиях плотность про-

порциональна количеству руды, угля или конкретного металла в пульпе.

Если известна плотность материала, абсорбцию гамма-излучения можно использовать для измерения веса материала. Типичным примером применения этого метода является измерение потока материала на ленте транспортера.

Содержание воды в угле обычно определяется в режиме „он-лайн” с помощью вышеупомянутого нейтронного метода, причем используемый принцип аналогичен определению содержания воды и нефти в скважинах. Вообще, НАА, гамма-активационный анализ нейтронного захвата и гамма-активационный анализ по запаздывающим нейтронам целесообразно использовать для анализа технологического процесса в силу тех же причин, что и при каротаже скважин. Ядерное излучение обладает очень высокой проникающей способностью, позволяющей проводить анализ больших объемов грубых материалов. Несмотря на явные преимущества методов НАА, они не нашли широкого применения. Вероятной причиной является осторожность в использовании радиоактивных источников на промышленных предприятиях.

Однако на производстве, связанном с использованием угля, предпочтение отдается анализаторам НАА, т.к. уголь представляет собой очень удобную среду для применения НАА – с его помощью можно точно и оперативно определить содержание углерода и всех важных компонентов золы.

Применение изотопных индикаторов при обогащении руды

В силу целого ряда причин методы радиоактивных индикаторов широко используются для изучения и оптимизации процесса обогащения руд полезных ископаемых. В этом процессе все операции, в основном, носят широкомасштабный характер. Следовательно, рабочие характеристики не всегда совпадают с характеристиками опытных установок. Относительно небольшие усовершенствования промышленных технологических процессов приводят к значительной экономии, а методы радиоактивных индикаторов дают уникальную возможность их изучения.

В дополнение ко многим другим областям применения методы радиоактивных индикаторов используются для изучения потока, смешивания и дробления материалов. Кроме того, они применяются в исследованиях физико-химических реакций, для отделения металла от шлака, определения объемов технологических материалов в реакционных сосудах, а также износа реакционных сосудов. В области контроля качества методы радиоактивных индикаторов используются также для идентификации неметаллических включений в металлах.

Деятельность МАГАТЭ

Агентство традиционно поддерживает использование ядерных методов в области полезных ископаемых. Оно организовало проведение нескольких симпозиумов, конференций, совещаний групп специалистов и экспертов, консультативных групп, а также опубликовало много технических отчетов.

Кроме того, через свои программы технического сотрудничества Агентство оказывает непрерывную поддержку и помогает удовлетворять потребности развивающихся стран. Наибольшее внимание уделялось трем областям: разведке и разработке месторождений урана; развитию лабораторий, использующих ядерные аналитические методы для поддержки программ разведки полезных ископаемых; применению изотопных индикаторов при обогащении руд полезных ископаемых. Агентство поддерживало, например, разработку реакторного НАА; НАА с энергией нейтронов 14 МэВ; лабораторий рентгеновского флюоресцентного дисперсного анализа и их использование в геологических исследованиях и при разведке полезных ископаемых. Помощь оказывалась в виде предоставления оборудования, проведения учебных курсов, командировок экспертов и стипендий.

В Румынии, например, МАГАТЭ оказывает поддержку разработкам приборов каротажа очень глубоких скважин при разведке нефти. В нескольких странах уже реализуются проекты разведки и разработки месторождений урана.

Под эгидой Отдела физических и химических наук МАГАТЭ осуществляется довольно широкомасштабная исследовательская программа в данной области. В 1986 году этот отдел завершил программу координированных исследований (ПКИ) по применению ядерных аналитических

методов при разведке, добыче и обогащении. К числу осуществляемых и запланированных мероприятий, организуемых этим и другими отделами и подразделениями МАГАТЭ, относятся:

- Первое совещание по координации исследований в рамках программы разведки и разработки месторождений природных ресурсов, которое состоится в ноябре 1987 года в США. Эта ПКИ, реализация которой ведется в течение уже двух лет, охватывает пять контрактов и пять соглашений с Австралией, Венгрией, Вьетнамом, Канадой, Китаем, Польшей, СССР, США и Японией.

- Совещание консультативной группы по применению ядерных аналитических методов анализа элементов в режиме „он-лайн” в промышленности, которое прошло в июне 1987 года в Финляндии.

- Совещание консультантов по современным тенденциям в области применения методов ядерного каротажа скважин для анализа элементов, которое состоится в ноябре 1987 года в США.

- Секция ядерных данных МАГАТЭ осуществляет программу сбора данных о нейтронных сечениях, необходимых для геофизических исследований и применения ядерных аналитических методов. Целый ряд совещаний уже был проведен; кроме того, запланированы новые дополнительные совещания.

- Отдел ядерного топливного цикла реализует широкую программу по разведке, добыче и обогащению урановых руд. В 1987 году запланировано провести 13 совещаний по методам разведки и геологии урана, добычи и обогащения руды и по урановым ресурсам. Цель некоторых совещаний непосредственно заключается в разработке руководств для исследовательских групп в развивающихся странах.

