



**Н. И. Ковалев**  
канд. техн. наук, зам. директора  
Института ядерно-химических  
технологий СНУЯЭиП

# Применение дистанционного геолографического комплекса зондирования Земли «Поиск»

для прямого выявления месторождений полезных ископаемых

*Статья посвящена дистанционной технологии поиска полезных ископаемых на основе применения геолографического комплекса глубинного зондирования Земли «Поиск».*

*Article is devoted to remote technology of search of minerals on the basis of application of a geoholographic complex of deep sounding the Earth «Search».*

**Ключевые слова:** прогноз, объект, каркасная и блочная модели, никелевое оруденение, оценка, месторождение, руда, коматииты.

**Keywords:** forecast, target, wireframe, blockmodel, nickel mineralization, assessment, deposit, ore, komatiites.

**А**нализ существующих традиционных методов исследований геологических глубин дистанционными средствами показывает, что они имеют невысокие показатели степени идентификации перспективных площадей (для нефти и газа – 15–40%) вследствие того, что являются косвенными, прежде всего, при использовании результатов аэрокосмических съемок.

Авторским коллективом в составе Н. И. Ковалева, В. А. Гоха, Г. Н. Белявского, Э. А. Бакая, П. Н. Иващенко научно обоснован и в течение последнего десятилетия внедрен в промышленное применение способ идентификации месторождений полезных ископаемых и мониторинга природной среды на основе использования измерительного комплекса дистанционного зондирования недр Земли «Поиск», основанного на ядерно-магнитном резонансе (ЯМР). Научные предпосылки функционирования комплекса изложены в работах В.А.Пухлия, Ж.А.Пухлий и Н.И.Ковалева на основе методов квантовой радиофизики. Комплекс запатентован в Украине, России и Швейцарии.

#### **Состав и техническая характеристика комплекса.**

Аппаратура – приборы, узлы, установки, программные продукты:

- комплект приборов аэрофотосъемки (ТАВР-М1, УМК и др.) с лазерной «подсветкой» района обследования (или космических фотоснимков района обследования);
- исследовательские установки ядерно-магнитного резонанса;
- установки электронного парамагнитного резонанса;
- угломер и лазерный дальномер;
- исследовательский реактор на тепловых нейтронах ИР-100 с откатным коробом в активной зоне (нейтронный поток  $2 \times 10^{12}$  н/см<sup>2</sup>с) и стационарная установка гамма-излучения с мощностью дозы 1000 р/час;
- химическая и радиохимическая лаборатории 2-го класса для работы с изотопами;
- спектрометрическая установка с ПДД и радиометрическая установка низкофоновая УМФ-2000;
- генераторы СВЧ-излучений различных частот от 0,1–60 ТГц;
- лазерные установки малой мощности, совмещенные с устройствами вращательного электромагнитного поля;
- перевозимая приемно-передающая аппаратура СВЧ-излучений и чувствительная измерительная аппаратура электромагнитного излучения;

- технологический узел для химической обработки фотоснимков с установкой для вакуумного нанесения на них приготовленных растворов поливинилового спирта, лактозы и люминофоров;
- электронные приставки для сканирования с образцов проб (минералов, руд, вмещающих руд, образцов проб нефти и газа) информационно-энергетических спектров углеводородных и рудных веществ, записи их на «тестовые» и «рабочие» матрицы;
- «тестовые» матрицы с записанными атомными спектрами веществ (спектры ЯМР металлов и органических веществ);
- геологические карты и цветные космические фотоснимки с известными районами месторождений для настройки и проверки работоспособности стационарной и мобильной аппаратуры комплекса по дистанционной идентификации участков месторождений;
- электромагнитная камера (Кирлиан-камера) для визуализации границ контуров месторождений на аэрокосмических снимках и переноса их на геологическую карту района поиска с помощью видеокамеры «Стейшн-5Н», совмещенные с ПЭВМ;
- приемно-фазовые антенны широкого обзора;
- автомобильный транспорт высокой проходимости (для ведения работ) с размещением аппаратуры мобильного комплекса «Поиск», с мобильной связью и приемниками GPS;
- транспортируемый автотранспортом электрогенератор (для обеспечения полевых работ электроэнергией) или свинцовые батареи (24 в);
- теодолиты с закрепленными на них узконаправленными антеннами СВЧ-генераторов (для определения пеленгов и углов наклона луча);
- прибор для сканирования электромагнитных высокочастотных полей (КВЧ-ИКА «Сем-Tech») для регистрации резонансных частотных спектров электромагнитных полей над месторождением;
- портативные радиостанции, GPS-приемники и приемники регистрации спектров веществ (углеводородов) на границах контуров участков месторождений;
- прибор ИГА-1 АМ для регистрации магнитных аномалий;
- ноутбук с программными продуктами для записи и обработки геофизических измерений в полевых условиях;
- программный комплекс ПЭВМ для определения координат точек обследования в районе и отображения их на географической карте через интернет-портал;

- стационарный идентификационный комплекс «Спектр» для регистрации резонансных спектров искомым веществ;
- центр для обработки геофизических характеристик, интерпретации полевых материалов и построения по ним глубинных профилей месторождения;
- редакционно-издательский комплекс для подготовки карт, отчетных документов и расчетных материалов по оценке запасов руд с промышленным содержанием в них металлов.

Перед началом полевых работ измерительная аппаратура мобильного комплекса «Поиск» проходит настройку на известных участках месторождения или на поисковых контрольных скважинах по дистанционному определению глубин залегания горизонтов полезных ископаемых

#### Технические характеристики комплекса:

1. Вероятность избирательной дистанционной идентификации полезных ископаемых на глубинах до 5000 м (под землей и под водой):
  - нефти, газа, газового конденсата – >90%,
  - вод – >95%,
  - руд – 85-90%.
2. Погрешность дистанционного определения полезных ископаемых под землей –  $\pm 25-30\%$ .
3. Допустимое отклонение при дистанционном определении границ участков месторождений:
  - при расшифровке стационарным комплексом «Поиск» аэрокосмических фотоснимков высокого разрешения –  $\pm 6-10$  м (в зависимости от точности приемников GPS);
  - при непосредственном обследовании участка месторождения с помощью мобильной аппаратуры (полевого) комплекса «Поиск» –  $\pm 1-1,5$  м.
4. Допустимая ошибка в определении глубин залегания продуктивных горизонтов месторождения:
  - при глубине 1000 м –  $\pm 0,2\%$  от глубины;
  - при глубине 5000 м –  $\pm 0,25-0,3\%$  от глубины.
5. Вес аппаратуры мобильного комплекса «Поиск-М» – до 80 кг.
6. Вес аппаратуры стационарного геогеографического комплекса – более 1200 кг.

#### Методика работ

Поэтапная технология дистанционного поиска и оценки полезных ископаемых заключается в следующем:

**I этап:** Обнаружение и оконтуривание объекта, что включает аэросъемку исследуемого района с привязкой к карте местности; химическую и голографическую обработку фотографий и

создание идентификационных тестовых матриц радиационно-химическими технологиями; визуализацию, идентификацию типа месторождения и определение глубин залегания горизонтов; определение границ отдельных зон и их глубин.

**II этап:** Аппаратурное обследование местности, что включает зондирование исследуемого района специальной аппаратурой СВЧ, установленной на автомобиле; определение границ залежей на местности и уточнение глубин залегания горизонтов; определение геометрических и физических параметров объекта; создание прогнозной карты с определением границ объекта, его объема и глубины залегания; опреде-

## Поэтапная технология дистанционного поиска и оценки полезных ископаемых заключается в обнаружении и оконтуривании, аппаратурном обследовании местности, научном сопровождении выполнения поисковых работ.

ление точек под бурение заверочных скважин.

**III этап:** Научное сопровождение выполнения поисковых работ, что включает подземную диагностику объекта. При выполнении мониторинга природной среды – представление вспомогательных данных по отдельным вопросам дистанционного геоэкологического мониторинга в районе работ; уточнение данных по объему и физико-химическим характеристикам веществ под землей; определение подземных путей миграции вредных веществ; дистанционный мониторинг технического состояния подземных, подводных нефтегазопроводов, трубопроводов и емкостей.

Идентификация видов полезных ископаемых осуществляется путем сравнения «тестовых» спектров с зарегистрированными спектрами веществ на космических фотографиях с помощью аппаратуры «Спектр».

Для идентификации типов полезных ископаемых и горизонтов осуществляется настройка аппаратуры комплекса «Поиск», которая заключается в следующем:

- предварительном изучении химического состава полезных ископаемых (углеводородов, металлов и т.п.), с целью установления реперных (отличительных, диагностических) признаков в составе конкретных видов полезных ископаемых;
- создании банка данных о спектрах ЯМР металлов, углеводородов, газов (сероводорода, метана), а также об информационно-энергетических

спектрах (интегральных резонансных спектрах) смеси химических элементов, входящих в состав искоемых полезных ископаемых;

- переносе спектральных характеристик реперных металлов, углерода, а также информационно-энергетических спектров образцов проб искоемых полезных ископаемых на магнитные носители спектров («матрицы»);
- модуляции спектральных частотных характеристик с носителей на рабочую частоту сверхвысокочастотного генератора террагерцевой частоты (СВЧ-генератора с вращающимся электромагнитным полем), обладающей высокой проникающей способностью (до глубин не менее 5000 м);
- проверке в лабораторных и полевых условиях резонансного возбуждения образцов проб при воздействии на них модулированной частоты СВЧ-генератора путем регистрации возникающего над ними резонансного мягкого электромагнитного поля от образцов искоемых полезных ископаемых, находящихся на различных расстояниях от антенны генератора (в лабораторных условиях – 25 и 50 м, а в полевых условиях – на глубине не менее 500 м).

Проведение записей резонансных спектральных характеристик атомов реперных металлов, химических элементов (ЯМР-спектров), выбранных в качестве распознавательных для избирательной идентификации конкретного полезного ископаемого, производится с использованием установок ЯМР.

Реперные металлы выбираются для каждого вещества, исходя из существенного различия в них этих металлов и редких элементов. Учитываются также амплитуды сигналов при записях информационно-энергетических спектров от каждого полезного ископаемого и пород коллекторов углеводородов.

Запись информационно-энергетических спектров с образцов проб полезного ископаемого и пород выполняется с использованием высокочувствительных блоков записи стационарного комплекса «Поиск». Данные информационно-энергетические спектры веществ также записываются на рабочие магнитные носители («рабочие матрицы») и используются для резонансного возбуждения этих веществ в недрах земли путем воздействия на них модулированных сигналов СВЧ-генератора.

При необходимости изучения элементарного состава полезного ископаемого и прилегающих пород используется нейтронно-активационный метод определения концентраций металлов в них. Элементный состав и образцы полезных ископаемых и пород представляются заказчиком до начала работ.

Элементный состав образцов проб различных полезных ископаемых и амплитуды их интегральных спектральных характеристик – информационно-измерительных спектров – вносятся в банк данных стационарного комплекса «Поиск». Одновременно все спектральные ЯМР-характеристики реперных металлов используются в качестве дополнительных параметров при идентификации искоемых веществ.

Для подтверждения избирательности дистанционного обнаружения конкретных полезных ископаемых и пород проводится испытание в лабораторных условиях стационарной и переносной аппаратуры комплекса «Поиск» по избирательной регистрации образцов полезных ископаемых и пород коллекторов (вмещающих пород). При этом путем регулирования порога чувствительности измерительной аппаратуры добиваются избирательной идентификации каждого полезного ископаемого, а также делается запись амплитуды спектральных характеристик в определении интервала частот.

Приготовление материала и изготовление «тестовых» резонансных матриц производится в радиохимической лаборатории и заключается в смешивании органических веществ (сахарозы, поливинилового спирта, лактозы и желатина) с микроколичеством редких элементов, обладающих повышенными магнитными свойствами.

Редкие элементы «сшиваются» с органическими веществами в тонком слое с помощью радиационно-химических технологий (под воздействием гамма-излучений большой мощности) с использованием исследовательского ядерного реактора ИР-100. Остаток «несшитых» молекул редких элементов вымывают водными растворами кислот. Активированный материал матриц разливают в формы, а затем разрезается на пластинки размером 40x60 мм. С помощью высокочувствительной аппаратуры записи спектров в установках ЯМР резонансные спектры реперных химических элементов (металлов) и информационно-энергетические спектры образцов проб полезных ископаемых и вмещающих пород записываются на изготовленные пластины «рабочих матриц» (по 2 комплекта на 1 спектр).

Наборы «рабочих» и «тестовых» матриц используются для модуляции резонансных частот спектров атомов на высокочастотную несущую частоту генератора СВЧ-излучения (террагерцевой частоты) при проведении дистанционных измерений.

В полевых условиях модулированный сигнал с помощью узконаправленной антенны от

высокочастотного блока СВЧ-генератора направляется под определенным углом в глубь Земли для дистанционного резонансного возбуждения атома реперного элемента либо всего идентифицируемого вещества. Над участком месторождения возникающее высокочастотное электромагнитное поле регистрируется чувствительным прибором-приемником, настроенным на резонансную частоту конкретного атома реперного элемента или интегрального спектра вещества.

В лабораторных условиях модулированным сигналом СВЧ-генератора последовательно возбуждают образцы проб полезного ископаемого (углеводородов, руд), вмещающих другие искомые вещества, проверяют избирательность их регистрации полевой аппаратурой и аппаратурой стационарного комплекса «Поиск». Данные образцы располагают вплотную друг к другу. Этим приемом убеждаются, что отсутствует их взаимное влияние на избирательность регистрации каждого образца при их нахождении вблизи друг к другу.

Для дистанционного оперативного определения оконтуривания границ месторождений (углеводородов, угля, металлов, воды) с помощью стационарной аппаратуры географического комплекса «Поиск» распознаются космические фотоснимки района поиска, выполненные с 2 космических аппаратов с известными углами наклона объективов при выполнении фотосъемок. Выполненные космические снимки перед расшифровкой передаются в радиохимическую лабораторию, цветные изображения с фотоснимка переносятся на специальную фотобумагу, а затем обрабатываются раствором геля, в который внесены светочувствительные люминофоры и другие добавки редких элементов в зависимости от определяемого вещества в недрах Земли.

Данные фотоснимки обрабатываются в радиационных полях до появления характерного свечения фотоснимка, а затем выдерживаются определенное время под воздействием вращательного магнитного поля и генератора СВЧ-излучения до снижения интенсивности свечения всего обработанного поля фотоснимка. Через определенное время свечение всего фотоснимка прекращается и продолжается свечение только тех участков, в которых находятся конкретные искомые вещества (например, вода, природный газ или уголь).

На других обработанных фотоснимках определяются границы светящейся области, где имеются участки с другими искомыми

полезными ископаемыми. При этом частота генератора СВЧ-излучений модулируется соответствующей частотой информационно-энергетического спектра идентифицируемого вещества, а фотоснимок предварительно обрабатывается соответствующими растворами с добавками редких элементов.

Границы люминесцирующего участка оконтуриваются и переносятся с помощью видеокамеры, совмещенной с ПЭВМ, на карту района обследования. Для усиления свечения контура используется Кирилан-камера.

## **Для дистанционного оперативного определения оконтуривания границ месторождений с помощью комплекса «Поиск» распознаются космические фотоснимки района поиска, выполненные с 2 космических аппаратов.**

Выявленные участки с месторождениями или подземными водами с целью определения глубин залегания подвергаются детальной космической фотосъемке в различных частотных диапазонах или с лазерной «подсветкой». По детальным фотоснимкам, выполненным с 2 спутников, путем расчетов в 2-3 точках определяются глубины залегания горизонтов (приблизительные) полезных ископаемых, подземных вод, угольных пластов (путем сравнения интенсивности резонансных сигналов на 2 фотоснимках). При полевых работах используется мобильная аппаратура для дистанционного определения глубин залегания горизонтов по углу наклона антенны СВЧ-генератора и расстоянию от антенны до точки появления максимальной амплитуды резонансного электромагнитного сигнала над месторождениями. По углу наклона и замеренному расстоянию (катету) определяется глубина залегания горизонтов.

С помощью резонансной полевой аппаратуры по тестовым амплитудам сигнала определяются также примерные величины давлений в газовых горизонтах. При этом используется банк данных «рабочих» матриц природного газа с записанными спектрами при определенных давлениях газа в образцах проб.

Путем обработки полученных данных полевых работ по имеющимся записям мобильной аппаратуры над участком возникающих резонансных электромагнитных полей при воздействии СВЧ-генератора рассчитываются характеристики горизонтов залегания

углеводородных и рудных залежей, а также линз подземных вод. На обследуемой площади полевой аппаратурой выполняются не менее 50 измерений глубин залегания горизонтов. Строятся глубинные профили участков месторождений полезных ископаемых, скоплений подземных вод. Уточняются границы контуров подземных вод, участков углеводородных скоплений, определяется давление газа в шапках нефтяных горизонтов и в газовых горизонтах.

Перед началом полевых работ мобильная аппаратура комплекса «Поиск» предварительно проверяется на известных месторождениях полезных ископаемых по определению глубин их залегания.

В точках измерения глубин залегания полезных ископаемых определяется высота над уровнем моря. В качестве уточняющего параметра определения глубин залегания полезного ископаемого выбрана сходимость глубин нахождения верхней и нижней кромки залежи ископаемого и границ вмещающих пород или пород коллекторов углеводородов. Расстояние между точками замеров параметров залегания полезного ископаемого может сгущаться до 50-200 метров.

По точкам измерения глубин залегания полезных ископаемых строятся глубинные срезы, выявляются на графике участки с глубинами залегания полезных горизонтов. При необходимости делаются дополнительные замеры магнитных аномалий над предполагаемыми участками с применением прибора ИГА-1М.

Интерпретация полученных данных выполняется исполнителем совместно с горно-геологическими специалистами на основе сопоставления построенных сечений (срезов) со структурно-тектонической картой обследуемого участка, а также другими данными, полученными при выполнении предварительных геологических работ. По уточненным параметрам на глубинных срезах и измеренным давлениям газа экспресс-методом определяются примерные объемы извлекаемых запасов.

### Результаты работ

Апробация комплекса «Поиск» проводилась на протяжении последних 10 лет. Работы выполнялись в Украине, США, Монголии, России, Греции, ОАЭ, Мавритании, Австрии, на Кипре. Кроме решения методических вопросов успешно выполнены более 20 проектов по заказу коммерческих компаний и государственных предприятий.

В процессе работ были решены следующие задачи:

- поиски урановых проявлений и месторождений;
- поиски и определение параметров месторождений золота и меди;
- поиски, определение пространственного положения и параметров месторождений нефти, газа и газоконденсата (глубин залегания, мощности продуктивных горизонтов, типа нефтегазопроницаемых пород коллекторов, температуры, давления газа в газовом горизонте и в газовой шапке нефтяного горизонта, направления миграции углеводородов, наличия примесей в газе и нефти, влияющих на качество продукта, – сероводорода, парафина, углекислого газа, гелия);
- поиски подземных питьевых вод в пустыне Гоби.

Качество этих работ и эффективность дистанционной аппаратуры оценивались сравнением полученных результатов с результатами традиционных геофизических поисков и бурения.

В число решенных экологических задач входит следующее: определение мест утечек газа из подводного газопровода в Черном море; обнаружение и обезвреживание отравляющих веществ различных типов (около 1000 контейнеров под слоем морского грунта толщиной до 2,5+4 м с указанием конкретного типа ОВ до вскрытия контейнера); поиск затопленных объектов с остатками ГСМ и боеприпасами (в Черном море обнаружено более 50 тонн снарядов, несколько торпед, десятки ракет и морских мин, а также мелкие суда с боеприпасами).

В целом проведенные работы подтвердили высокую эффективность поисков месторождений, а также универсальность аппаратуры комплекса «Поиск» для определения различных типов углеводородных и рудных месторождений, определения глубин залегания углеводородных горизонтов, давления газа в газовых горизонтах, температуры нефти, направления миграции углеводородов в толще земной коры, давления газа в шапках нефтеносных горизонтов.

Разработанный дистанционный способ поисков полезных ископаемых рекомендован для совместного использования с другими геофизическими и аэрокосмическими методами с целью оценки потенциала месторождений до начала поискового бурения. Это позволяет значительно снизить финансовые риски при проведении глубинных буровых работ и повысить результаты и оперативность геологоразведки. 