



В. П. Мельников
доктор геолого-минералогических наук, директор Института криолитозоны СО РАН



В. И. Лисов
доктор экономических наук, ректор РГГРУ



О. С. Брюховецкий
доктор технических наук, проректор РГГРУ



Л. З. Бобровников
доктор технических наук, декан РГГРУ

Бинарные технологии прямых поисков месторождений полезных ископаемых

В статье изложены основы принципиально новой, бинарной технологии прямых поисков месторождений полезных ископаемых, базирующейся на использовании, как минимум, двух искусственно возбуждаемых весьма интенсивных геофизических полей.
In article essentially new, binary technologies of direct searches of deposits of the minerals, based use, at least, two is artificial excited rather intensive geophysical fields.

Ключевые слова: месторождения полезных ископаемых, поиски, бинарная технология, электромагнитное поле, импульсное сейсмическое поле.

Keywords: deposits of minerals, searches, binary technology, an electromagnetic field, a pulse seismic field.

В Российском государственном геологоразведочном университете (РГГРУ) к настоящему времени разработаны и опробованы на хорошо изученных, «эталонных» месторождениях различных полезных ископаемых и готовы к широкому внедрению в производство геофизических работ несколько новых, бинарных технологий, позволяющих проводить прямые поиски месторождений различных полезных ископаемых на суше, на прибрежном шельфе и на глубоководных морских акваториях.

Отличительной особенностью этих технологий от стандартных геофизических методов является использование одновременно нескольких искусственно создаваемых многокомпонентных электромагнитных полей и сейсмических (упругих) колебаний, которые, воздействуя одновременно (или в заданной временной и пространственной последовательности) на искомый объект поисков (рудное тело, нефтегазонасыщенный пласт, линзу подземных вод и т.д.), возбуждают в нем (или на его контактах со вмещающей средой) сложные электрохимические, поляризационные, электродинамические и электрокинетические процессы, которые в свою

очередь возбуждают в окружающем пространстве вторичное многокомпонентное электромагнитное поле. Это поле имеет значительную величину и может наблюдаться даже на большом удалении от искомого геологического объекта в виде многокомпонентного электромагнитного сигнала, параметры которого практически всегда однозначно связаны не только с физико-химическими свойствами, но и с минералогическим и гранулометрическим составом изучаемого геологического объекта.

Наиболее эффективными из таких технологий являются:

- 1.** Сейсмоэлектромагнитный метод поисков месторождений (СЭМ), основанный на изучении линейных, нелинейных и параметрических процессов, происходящих в горных породах и рудах и, особенно интенсивно, в нефтегазовых залежах при бинарном и одновременном воздействии на них упругих (сейсмических) колебаний постоянных, импульсных и гармонических электромагнитных полей заданной временной и пространственной последовательности и заданного спектрального состава.
- 2.** Метод тензорных измерений (МТИ) линейных и нелинейных параметров вторичного

электромагнитного поля, основанный на одновременном воздействии на геологические объекты нескольких постоянных, импульсных и гармонических электромагнитных полей, позволяющий не только уверенно различать графитизированные, углефицированные геологические образования, сульфидное оруденение, пресные и минерализованные воды, но и определять пространственное положение их наибольшей концентрации.

В сухопутных вариантах эти методы реализуются с помощью заземленных питающих линий АВ, незаземленных генераторных петель и невзрывных источников сейсмических колебаний. В качестве приемников вторичных полей, обусловленных процессами в изучаемых объектах, используются заземляемые приемные линии MN, различные виды приемников магнитных компонент вторичного электромагнитного поля и стандартные сейсмоприемники.

В морских вариантах указанные методы преимущественно реализуются в движении при использовании судов различного типа, движущихся со скоростью до 3-4 узлов в час и буксируемых (на поверхности моря, на заданной глубине или вблизи морского дна) невзрывные источники сейсмических колебаний, сейсмоприемники, питающие линии АВ, приемные линии MN и приемники магнитных компонент вторичного электромагнитного поля.

РГГРУ является одним из основных авторов-разработчиков этих новых технологий в России и проводит научные исследования в этой области с 1962 г. Успешность этих исследований подтверждена 98 авторскими свидетельствами, полученными РГГРУ за разработку и внедрение в практику геологоразведочных работ основ интерпретации, методики полевых работ и аппаратуры нескольких упрощенных вариантов этих технологий (методы и аппаратура: МВП-75, ВП-Ф, МСВП-8, МЭРС-16, ТВП-2001, МГК-6000, СЭМ).

Сейсмоэлектромагнитный метод (СЭМ).

В РГГРУ в содружестве с Институтом криолитозоны (ИКЗ) СО РАН и ВНИИОкеангеология к настоящему времени закончена разработка нового, практически «прямого» СЭМ для поиска и разведки продуктивных нефтегазовых месторождений на морских акваториях, основанного на сейсмоэлектромагнитном эффекте, возникающем в продуктивных пластах нефтегазовой залежи при одновременном бинарном воздействии на них сейсмических (упругих) колебаний и электромагнитных полей.

В общем случае современные геофизические методы поисков и разведки нефтегазовых

месторождений основываются на представлении изучаемого геолого-геофизического разреза в виде следующей физической модели: а) геолого-геофизический разрез, представленный осадочными породами, рассматривается как многослойная пористая мембрана сложного строения; б) пласты этой мембраны заполнены флюидами различного состава и разной концентрации; преобладающая часть насыщена солевыми растворами с концентрациями 1-300 г/л; небольшая часть заполнена рассеянными углеводородами, в результате чего образуются более или менее богатые углеводородами пласты, в которых углеводороды замещают солевые растворы и в достаточной хорошо проницаемых коллекторах образуют промышленные залежи; в) углеводороды имеют электрическое сопротивление на 8-9 порядков выше сопротивления солевых растворов и, казалось бы, могут достоверно обнаруживаться стандартными методами электроразведки; однако это возможно только в том случае, если продуктивный пласт имеет достаточно большую мощность и залегает относительно не очень глубоко; г) применение сейсморазведки также не дает абсолютно достоверных сведений о наличии в изучаемом геологическом разрезе достаточно мощных продуктивных пластов, содержащих углеводороды.

Однако при прохождении через продуктивный пласт углеводородов сейсмическая волна вызывает смещения их частиц относительно твердого скелета коллектора, что в свою очередь вызывает разделение электрических зарядов в пласте и появление сейсмоэлектрического поля в окружающем пространстве, которое может быть измерено и на поверхности. При этом величина электрической компоненты сейсмоэлектрического сигнала практически пропорциональна электрическому сопротивлению порового вещества, поэтому отклик от углеводородов (как жидких, так и газообразных) значительно сильнее, чем от находящейся в пласте воды.

Таким образом, обнаружение сейсмоэлектрического сигнала непосредственно указывает на наличие углеводородов. Однако величина этого сигнала обычно весьма мала, поэтому стандартные сейсмоэлектрические методы применимы лишь тогда, когда продуктивный пласт имеет достаточно большую мощность и залегает не очень глубоко.

Исследования, начатые в РГГРУ еще в прошлом веке, доказали, что для увеличения амплитуды сейсмоэлектромагнитного отклика от углеводородов в коллекторе на него необходимо воздействовать одновременно упругими колебаниями и соответствующим образом подобранными электромагнитными полями. В результате

модельных и многочисленных экспериментальных работ на суше и морских акваториях было установлено, что при одновременных (или возбуждаемых в заданной временной последовательности) воздействиях сейсмических и электромагнитных полей на нефтегазовую залежь в ней протекают сложные динамические, механико-электрические, электрокинетические, электрохимические и электрические поляризационные процессы, которые возбуждают вокруг нее вторичное электромагнитное поле специфической, весьма сложной формы. При этом особую, иногда решающую роль играет открытая пористость пород нефтегазового коллектора, обусловленная сообщающимися порами и капиллярами. Как показали натурные эксперименты, главную роль в возникновении сейсмоэлектромагнитного сигнала, особенно от глубокозалегающих нефтегазовых залежей на морских акваториях, играют процессы в нанокapиллярных каналах коллекторов, которые до сих пор строго теоретически и модельно детально не исследованы, что иногда существенно ограничивает возможности геологической интерпретации получаемых экспериментальных результатов, хотя многократно было доказано, что возникающий сейсмоэлектромагнитный сигнал пропорционален мощности продуктивного нефтегазового пласта, проницаемости его коллектора, степени вязкости и концентрации углеводородов.

В СЭМ из принимаемого на поверхности электромагнитного сигнала сложной формы выделяется специфического вида сигнал, обусловленный наличием в изучаемой структурной ловушке углеводородов (нефти, газа или газоконденсата). Если в ловушке углеводороды отсутствуют или их очень мало, сейсмоэлектромагнитный сигнал не возбуждается или имеет исчезающе малую величину.

В общем случае интенсивность принимаемого сейсмоэлектромагнитного сигнала пропорциональна мощности изучаемого продуктивного нефтегазового пласта, а по времени достижения сигналом максимального значения (после первого вступления) можно достаточно точно определить глубину залегания этого пласта, и тем точнее, чем точнее известна скорость распространения упругих колебаний в изучаемом геологическом разрезе. Если нефтегазовая залежь является многопластовой, то каждый отдельный продуктивный пласт достаточно большой мощности отображается в принимаемом сигнале в виде характерных максимумов и минимумов.

Разработанная новая технология позволяет оконтурить залежи углеводородов и обеспечивает достижение высокой (до 75-80%) успешности

последующего разведочного бурения. Опытно-производственные работы с применением СЭМ с положительными результатами были выполнены в Баренцевом, Северном и Черном морях и в Мексиканском заливе на 7 морских нефтегазовых месторождениях и на одном месторождении на суше. При этом опытные поисково-разведочные работы были проведены на протяжении более 3 тысяч километров профилей при глубинах моря от 5 до 500 м и глубинах залегания продуктивных пластов в нефтегазовых залежах до 5 км.

По результатам работ были указаны места для заложения 53 скважин, из которых наличие продуктивных пластов было подтверждено бурением 43. Данные, получаемые с помощью СЭМ при движении судна при скорости движения до 4 узлов в реальном времени, являются экспрессными и практически абсолютно объективными, поскольку наблюдаемые, регистрируемые и анализируемые ЭВМ сейсмоэлектромагнитные сигналы связаны непосредственно с продуктивными нефтегазовыми пластами и обусловлены находящимися в них углеводородами – и только ими. Особенно эффективно применение СЭМ при поисках и детальном изучении углеводородов в нетрадиционных ловушках (литолого-стратиграфических, дизъюнктивно-экранированных и комбинированного типа) в качестве дополнительного метода для уточнения результатов, полученных ранее другими, стандартными геофизическими методами.

Метод тензорных измерений (МТИ).

МТИ существует в нескольких вариантах – для поисков рудных и нерудных твердых полезных ископаемых и поисков нефтегазовых месторождений и бассейнов пресной воды.

Исследования РГПРУ показали, что верхние слои Земли, изучаемые с целью поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, – сложная система, состоящая из разнородных, отличающихся по своим физико-химическим свойствам слоев и частиц, контактирующих между собой непосредственно или через смачивающие их электролиты, заполняющие многочисленные микропоры, микротрещины и капилляры, пронизывающие всю толщу верхнего слоя Земли. В электролитах обычно преобладают водорастворимые соли металлов, присутствующих в минералах исследуемого месторождения. Вся эта сложная, многофазная гетерогенная система с многочисленными границами разделов между разнородными твердыми и жидкими фазами по своей сути не может быть электрически линейной, так как на границах разделов непременно

появляются контактные разности потенциалов, возникают двойные электрические слои, электронно-дырочные переходы, протекают окислительно-восстановительные электрохимические процессы, имеют место процессы диффузии и переноса.

При этом наблюдаемые нелинейности электропроводности – вызванной поляризуемостью – количественно и качественно оказываются вполне однозначно связаны с типом исследуемого месторождения, его минералогическим и гранулометрическим составом. Поэтому нелинейная модификация МТИ, разработанная в РГГРУ, имеет существенно большую геологическую эффективность, чем любые линейные методы, и дает возможность уверенно отличать, например, сульфидное оруденение от графитизированных и углефицированных пород, кимберлиты от обычных глин и осадочных пород, пресные воды от минерализованных, монолитные блоки горных пород от трещиноватых и т.д.

Упрощенный вариант нелинейного МТИ тщательно опробован сотрудниками РГГРУ как в лабораторных, так и в полевых условиях: был выполнен весьма большой объем опытно-методических и производственных полевых работ в различных регионах России и стран СНГ. При этом МТИ показал особо высокую эффективность при поисках алмазоносных структур, месторождений бокситов и золотосульфидных месторождений в черных сланцах.

Более сложный вариант МТИ основан на одновременных многокомпонентных измерениях многомерного вторичного электромагнитного поля искомого геологического объекта, возбуждаемого одновременно несколькими источниками электромагнитного поля и несколькими источниками сейсмических колебаний. При этом на поверхности Земли измеряются тензорные 3D-параметры вторичного электромагнитного поля, для чего используются, как минимум, две взаимно перпендикулярные питающие, две взаимно перпендикулярные приемные линии и два источника сейсмических колебаний. По измеренным параметрам сигналов определяют величины двух главных значений тензора вторичного поля, которые не зависят ни от направления действия первичных полей, ни от ориентации измерительных линий относительно неоднородностей среды, что позволяет определить местоположение эпицентров локальных неоднородностей на поверхности Земли даже в том случае, когда профили измерений располагаются вне аномальных зон. Это позволяет проводить измерения даже тогда, когда искомые геологические объекты недоступны для непосредственного изучения (например,

под водоемами, под крупными инженерными сооружениями и т.д.).

Опытно-методические работы, выполненные РГГРУ в различных регионах России и стран СНГ, показали высокую геологическую и экономическую эффективность МТИ при решении многих задач поисков и разведки месторождений практически любых полезных ископаемых. При этом МТИ оказался наиболее эффективным в следующих условиях:

- 1) при поисках и детальном изучении глубинных месторождений различных полезных ископаемых, сложенных породами, обогащенными сульфидами, и графитизированными или углефицированными породами (в первую очередь, при поисках цветных и благородных металлов, марганцевых и хромовых руд);
- 2) при поисках и детальном изучении алмазоносных труб;
- 3) при поисках месторождений бокситов и месторождений олова касситерит-сульфидной формации;
- 4) при поисках нефтегазоносных структур и их детальном изучении;
- 5) при инженерно-геологических изысканиях;
- 6) при поисках артезианских бассейнов питьевой воды;
- 7) при мониторинге распространения загрязнений в окружающей среде под воздействием различных промышленных объектов и в результате образования свалок;
- 8) при изучении упругих напряжений в горных породах и определении степени нарушения их механической прочности, что может быть использовано для оценки степени опасности возникновения оползней, провалов и землетрясений;
- 9) при изучении состояния крупных инженерных сооружений (путем определения степени трещиноватости, пористости, проницаемости и их изменений во времени, степени влажности в отдельных блоках и ее пространственного и временного изменения, степени механической напряженности в отдельных блоках и ее изменения во времени, степени коррозии металлической арматуры в железобетонных конструкциях).

Принципы моделирования сейсмoeлектрического метода и метода тензорных измерений и результаты их применения в геологоразведочных работах изложены авторами в 25 публикациях в 1981-2009 гг. 

Примечание: редакция планирует в следующих ближайших номерах поместить статьи с детальным описанием сейсмoeлектрического метода и метода тензорных измерений и конкретных результатов их применения при поисках месторождений полезных ископаемых.