

Актуальное состояние электроразведки в России: задачи, технологии и центры развития



*Редакционная статья по материалам докладов
Яковлева Дениса Викторовича,
ООО «НТЦ Северо-Запад», г. Москва.*

Вступление

Электроразведка играет важную роль в исследовании геологических объектов и является эффективным инструментом оценки минеральных ресурсов, решения разнообразных прикладных задач. Множество методов и технологий обусловлено как прогрессом научных разработок, так и разнообразием задач, которые способна решать электроразведка. Каждый метод имеет свои уникальные преимущества и выбирается в зависимости от задач и условий исследования. Наиболее полный обзор текущего состояния электроразведки в России был представлен в ряде докладов Яковлева Д. В. По согласованию с автором по материалам выступлений и проведенного автором Геовебинара из цикла "Современные проблемы геофизики и рудной геологии", организованного Геологическим факультетом МГУ имени М.В. Ломоносова, была подготовлена редакционная статья на эту тему.

В статье рассмотрены доступные методы и актуальные задачи, с которыми сталкиваются специалисты. Также будет представлена информация о ведущих компаниях и научных центрах, занимающихся развитием электроразведочных технологий и их практическим применением.

Электроразведочные работы можно разделить по методам, условиям проведения и перечню решаемых задач. Эта классификация, несмотря на широкий

спектр реализуемых проектов, помогает организовать современный рынок электроразведки в России. Также полезно рассмотреть зарубежные достижения в области электроразведочных технологий, которые активно развиваются и предлагают новые решения.

Классификация по направлениям электроразведки

Наиболее распространенными методами в электроразведке являются **методы постоянного тока**, особенно вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ). Этот метод основан на измерении разности электрических потенциалов между электродами приёмной линии и силы электрического тока в питающей линии при постепенном увеличении расстояния между ними. В результате исследований получается информация об удельных электрических сопротивлениях в массиве с учетом глубинного распределения. А также широкое применение имеет электротомография (ЭТ) – метод электроразведки, с помощью которого получают двумерные разрезы и трёхмерные модели распределения удельного электрического сопротивления (УЭС) и вызванной поляризации горных пород. Метод является основным при поисках и разведке рудных месторождений, инженерных изысканиях, геотехнических исследованиях.

Методы постоянного тока активно применяются и в скважинной геофизике,



▲ Рис. 1. Классификация по методам и частоте использования в России.

причем в обсаженных скважинах они особенно востребованы. На данный момент спрос на данные технологии еще не полностью удовлетворен.

В области **методов переменного тока** наибольшее распространение получила технология зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ). Этот метод электромагнитного зондирования основывается на анализе поля переходных процессов, которые возникают в земле при импульсном переключении тока в источнике. Кроме того, все большую популярность приобретает магнитно-теллурическое зондирование (МТЗ) — геофизический метод разведки, который изучает естественное переменное электромагнитное поле Земли, известное как магнитотеллурическое поле.

Среди **волновых методов** наибольшее применение находит георадиолокация (ГРЛ), которая представляет собой высокочастотный метод импульсной электроразведки. Этот метод основан на анализе распространения электромаг-

нитных импульсов в геологической среде.

Электроразведка применяется во всех средах и условиях — на земле, воде, в скважинах и шахтах. Целый комплекс методов электроразведочных исследований реализован в технологиях аэро-разведки.

Круг задач, решаемых технологиями электроразведки, весьма широк (Рис.2.). Чаще всего целесообразно использование электроразведки в комплексе с другими видами исследований. Особенно эффективно она применяется при поиске твердых полезных ископаемых. Стоит отметить, что несмотря на существующие стандарты и нормы в строительстве, которые требуют обязательного проведения электроразведочных работ при подготовке различных объектов, существует мнение, что этот вид исследования используется недостаточно эффективно. Порой это происходит просто формально, поскольку заказчики инженерных проектов чаще доверяют другой геологической информации.



▲ Рис. 2. Эффективность электроразведке в решении различных задач.

Однако, при оценке рынка электроразведочных исследований с точки зрения объема денежных средств, картина меняется. На первое место уверенно выходят поиски углеводородов, несмотря на относительно небольшое число выполняемых ежегодно проектов. Рис.3.

В целом объем рынка электроразведочных исследований по состоянию на 2024 г. можно оценить в диапазоне 2,3–4

млрд. р. Учитывая программу «Геология, возрождение легенды», второй этап которой начнет реализовываться с 2025 года, ожидается рост рынка электроразведочных исследований, прежде всего, за счет региональных работ в Якутии.

Частота применения различных методов при решении различных групп задач представлена на рисунке 4.

▼ Рис. 3. Оценка рынка электроразведки по направлениям – количество ежегодных проектов и бюджет.



Задачи	Методы постоянного тока	Методы переменного тока	Волновые методы
Инженерные, экологические	ЭТ ВЭЗ БТ	PMT-K мЗСБ СДВР	ГРЛ
Гидрогеология и геокриология	ВЭЗ ЭТ	мЗСБ АМТЗ АэроЗСБ CSEM МТЗ PMT-K	ГРЛ
Рудные задачи	СГ-ВП ЭП-ВП ЕП ЭТ-ВП МЗТ	АМТЗ АэроЗСБ CSEM ДИП АэроМТ ЗСБ-БВС	РВП
Поиск и разведка углеводородов	ЭП-ВП	ЗСБ CSEM МТЗ ДНМЭ	ГРЛ
Региональные и глубинные		МТЗ ЗСБ	

▲ Рис. 4. Частота применения методов электроразведки для решения различных задач.

Центры развития электроразведки

Электроразведку используют многие компании во всех субъектах Российской Федерации, даже те, которые далеки от геологоразведки. Например, в РЖД есть подразделение, занимающееся электроразведочными изысканиями. Тем не менее, можно выделить пять основных центров, где ряд компаний и специалистов активно развивает науку и технологии в области электроразведки. Это касается опробования новых методик, решения современных задач и разработ-

ки нового оборудования и программных продуктов. К таким центрам относятся Санкт-Петербург, Москва, Пермь (как обобщающий центр для Волго-Уральского региона), Новосибирск и Иркутск (Рис.5). Активность в этой части оценена, прежде всего, по публикациям, конференциям, практическим инновационным кейсам от тех или иных компаний, выполненным за последнее время. Региональная дифференциация сложилась исторически.

В Санкт-Петербурге традиционно



◀ Рис. 5. Центры развития электроразведки – технология, оборудование, компании.

развивалось рудное направление, в настоящее время успешно реализуемое и в Санкт-Петербургском государственном университете, Санкт-Петербургском горном институте. Научно-производственное предприятие ВИРГ-Рудгеофизика (ООО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика») является сервисной компанией в области геофизических исследований, сопровождающих прогноз, поиски месторождений полезных ископаемых и геологическое картирование, реализует широкую гамму электроразведочных исследований. Необходимо также отметить компанию КГЭ «Астра» – современная частная геофизическая компания имеет большой опыт решения инженерно-геофизических, рудных задач, собственное производство аппаратуры. В области скважинной и шахтной электроразведки также предлагаются интересные решения, что открывает хорошие перспективы для роста в этом направлении. Компания ВЕГА более 15 лет занимается разработкой геофизического и радиотехнического оборудования и программного обеспечения для электроразведочных работ. Специалистами компании разработана линейка магнитных индукционных датчиков серии IMS, по техническим параметрам являющиеся уникальными.

В Москве успешно развиваются практически все методы, причем, как в научных организациях Московский Государственный Университет, Институт Физики Земли РАН, МФТИ, так и в коммерческих компаниях - «Северо-Запад», «Геотех» и др.

Центр Геоэлектромагнитных исследований входит в состав Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю.Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН). ЦГЭМИ ИФЗ РАН проводит

фундаментальные и прикладные научные исследования с целью развития электромагнитных геофизических методов исследования земной коры и верхней мантии применительно к глубинным, структурным, нефтегазовым, инженерно-геологическим и другим задачам:

- Региональные магнитотеллурические исследования;
- Методы трехмерной интерпретации электромагнитных данных;
- Электромагнитный мониторинг геофизических процессов;
- Морская геоэлектрика;
- Теория электромагнитных полей в анизотропных и частотно-диспергирующих средах;
- Физические и математические основы связи сейсмических и ЭМ явлений в пористых и водонасыщенных горных породах;
- Высокоразрешающая малоглубинная электроразведка;
- Электромагнитная томография вулканов, геотермальных зон и разломов земной коры.

В Москве находится компания АО «ГНПП «Аэрогеофизика» – ведущая Российская компания в сфере оказания сервисных аэрогеофизических услуг и внедрению в отечественную практику современных инновационных технологий, выполняющая комплексные аэрогеофизические исследования по Государственному заказу и по договорам с горнорудными и нефтегазовыми компаниями в различных регионах России, а также за рубежом.

ООО «Северо-Запад», расположенная в Москве, специализируется как на производстве электроразведочной аппаратуры, так и на реализации проектов с использованием наземных электромагнитных методов.

Пермь — это центр с традиционно сильной геофизической школой, которая сегодня аккумулирует лучшие решения в области электроразведки для Волго-Уральского региона. Важными направлениями здесь являются шахтная электроразведка, скважинная электроразведка и межскважинное зондирование. Эти методы особенно востребованы для решения сложных рудных задач. Так, ВНИИ Галургии активно реализует проекты, связанные с георадиолокацией и электроразведкой, включая электротомографию. Кроме того, институт занимается комплексными проектами с использованием других геофизических методов при исследовании калийных месторождений и солевых отвалов, что подчеркивает важность Пермского региона в развитии электроразведочных технологий.

Новосибирск в России является крупным центром развития электроразведки еще с 1960–1970-е гг. с созданием здесь Института геологии и геофизики в составе Сибирского отделения Академии наук СССР. Здесь сложилась уникальная ситуация: наличие мощной вычислительной базы и Новосибирского государственного университета, обеспечивающего подготовку высококвалифицированных специалистов, а также переезд в Новосибирск ведущих ученых из западных научных центров России и Украины. В настоящее время в Новосибирске успешно работают компании, производящие и использующие собственную электроразведочную аппаратуру.

Так ООО «КБ Электрометрии» созданное сотрудниками Российской академии наук, действует как самостоятельно, так и в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве с Институтом нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, занимается разработкой и производством

геофизической аппаратуры методов электроразведки и индукционного профилирования. Научно-производственная компания «СибГеофизПрибор» осуществляет разработку и изготовление геофизической аппаратуры, предназначенной для проведения профильных и площадных сейсморазведочных и электроразведочных работ. АО «ЕМ-Разведка» реализует аэрогеофизические исследования, Электромагнитное сканирование (EM-HSDTD)[®], 2D TEM, 2D MTS, малоглубинная TEM, томография с индукционной поляризацией

В Иркутске активно развиваются методы переменного тока, прежде всего, метод ЗСБ, активно востребованный в нефтегазовой геологоразведке.

По суммарному годовому обороту компания ООО «СИГМА-ГЕО» является безусловным лидером по электроразведке в России, показывающая устойчивый рост объемов на протяжении последних лет. Это инновационная научно-производственная компания, занимающаяся проведением полного цикла электроразведочных работ, а также разработкой высокоточной электроразведочной аппаратуры и программного обеспечения. Качественный эффект от применения прецизионных аппаратурно-программных комплексов, оригинальных подходов к интерпретации геолого-геофизических данных подтвержден не только в России.

Спектр услуг, предлагаемый ООО «Сигма Гео» широк — нефтегазопроисковые, региональные задачи, гидрогеология, изучение многолетнемерзлых пород (ММП), магнитотеллурический мониторинг, геоэкология, разработка и производство электроразведочной аппаратуры.

В Иркутске также работает еще несколько предприятий, осуществляю-



▲ Рис. 6. Электроразведка в России: центры развития технологии, организации, методы.

щих электроразведочные исследования – АО «ИЭРП» (в составе АО «Росгеология»), Сибирская геофизическая научно-производственная компания (СГНПК).

Электроразведка в разных стихиях

Морская электроразведка, реализуемая рядом компаний (ВНИИ Океанологии, МГУ-Геофизика, АО «Северо-Запад» и др.) в настоящее время переживает не

лучшие времена. Объем исследований на шельфе снизился в несколько раз, а исследования в дальнем зарубежье практически прекратились. Впрочем, это не значит, что наши технологии стали не интересны.

При изменении конъюнктуры рынка услуги российской электроразведки в море, скорее всего, снова будут востребованы в мире.



▲ Рис. 7. Аэрогеофизические электроразведочные исследования: компании и методы.

Аэроэлектроразведка особенно активно развивается в сфере применения БПЛА. Причем, можно смело прогнозировать буквально прорывные решения в этой области в самое ближайшее время. Развитие аэротехнологий ведется в ряде компаний (Рис. 7), при этом безусловным лидером является компания АО «Аэрогеофизика».

Георадарные исследования реализованы: В Санкт-Петербурге (Институт наук о земле СПбГУ), ПМГРЭ; в Москве (МГУ, ИЗМИРАН, ЗАО «Таймер», НПЦ «Геотех», компания «Терразонд»), Якутске (Институт мерзлотоведения, Институт горного дела Севера), Петрозаводск (Институт геологии КарНЦ РАН).

Электротомография:

- **Электротомографические станции**
 - Омега 48 - 10 каналов
 - Скала 48к12 - 11 каналов
 - Скала 48к15 - 13 каналов. К этой станции можно ВП-1000 подключать в качестве источника

- **Коммутаторы**
 - COM-dd + Meduza + Scat
 - СмартКом72 + Астра-МЭРИ
- **Бесконтактная томография (БИКС, ВЕГА)**
 - 3Д томография
 - Донная коса

Постоянный ток и ВП

- **Аппаратура**
 - Астра + МЭРИ
 - АМС-1
 - Медуза + Скат
 - ВП-1000м
 - ИМВП
 - БИКС
 - ВЕГА
- **Бесконтактные измерения**
- **Частотное и временное ВП**
- **Развитие теории ВП**

Магнитотеллурика

- **Аппаратура**
 - НОРД
 - Сигма

- ВЕГА
- Тензор
- *РМТ и РМТ-К в движении.*
- *Обработка в реальном времени.*
- *Горизонтальный магнитный тензор.*
- *Программы инверсии и интерпретации.*
- *3Д инверсия.*

ЗСБ

- *Широчайший диапазон глубин*
- *Аппаратура*
 - SGS-TEM + КТ
 - Цикл-8 + КТ
 - Д-13
 - Fast-Snap
 - TEM-FAST
- *Форматы и обработка*
- *Программы инверсии*
- *3Д инверсия*

Заключение

Многообразие методов электроразведки, доступного оборудования и компаний, решающих разнообразные геологоразведочные и прикладные задачи, создает необходимость в разработке отраслевых стандартов в этой области. Существующая инструкция по электроразведке, охватывающая наземную, скважинную, шахтно-рудничную, аэроэлектроразведку и морскую электроразведку, была принята еще в 1984 году. Множество современных методов в то время просто не существовало. Поэтому актуален вопрос о создании нового отраслевого нормативного документа. В этом контексте может быть полезен опыт специалистов ФГУП «ВИМС», разработавших инструкцию по магниторазведке с использованием БПЛА. Возможно, будет целесообразно разработать отдельные нормативные документы для различных направлений электроразве-

дочных работ в качестве предварительного этапа перед созданием обширного сводного документа.

Литература

1. Каменецкий Ф. М., Филатов В. В., СНИИГГиМС в истории развития электроразведки в России // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири – 2022, С.79-84.