

УДК 555.98

**Копытенко Е.А.**, ООО «ВЕГА», СПбФ ИЗМИРАН, Санкт-Петербург,

**Поляков С.В.**, НИРФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, ООО «ВЕГА»,

**Самсонов Б.В.**, ООО «ВЕГА»

## Инновационные решения в электроразведке углеводородного сырья и твердых полезных ископаемых

**Ключевые слова:** электроразведка, метод магнитотеллурического зондирования и аудиомантителлурического зондирования, индукционный магнитометр, переходная зона, донная магнитотеллурическая станция, твердые полезные ископаемые, углеводороды (УВ), углеводородное сырьё, прибрежный шельф, зондирование становлением поля в ближней зоне, глубоководная измерительная коса, гидроразрыв нефтяных пластов

Всё возрастающие потребности к повышению глубинности и разрешающей способности методов разведки полезных ископаемых на фоне сокращения их запасов предъявляют высокие требования к совершенствованию как экспериментальной, так и теоретической базы электроразведки, относящейся к основному средству из семейства не сейсмических методов исследования земной коры. В современных условиях для исследовательских и производственных компаний этот факт является мощнейшим стимулом для разработки и внедрения инновационных решений, базирующихся на отечественных технологиях.

Компания «ВЕГА» более 15 лет занимается разработкой геофизического и радиотехнического оборудования, а также программного обеспечения для электроразведочных работ. Отличительной чертой всех разработок компании является инновационная направленность. В каждом изделии компании имеется та изюминка, благодаря которой продукт становится востребованным на рынке геофизических услуг. Главной гордостью и узнаваемым брендом ООО «ВЕГА» стала линейка магнитных индукционных датчиков серии IMS создававшаяся специалистами компании в течение многих лет [2]. По своим техническим параметрам датчики превосходят все западные аналоги. Участие в различных НИОКР, в том числе с ГК «Росатом», фондом Бортника, Крыловским ГНЦ, СПбФ ИЗМИРАН, ФГУП НИРФИ, ИРНТУ и другими стало подтверждением инновационной направленности деятельности компании.

## История, оборудование, инновационные методики

С 2008 года с момента своего образования компания ВЕГА интенсивно включилась в процесс разработки и внедрения самого современного оборудования по ключевым направлениям, новейших технологий, методик и программного обеспечения, прошедших опробование в академических проектах и опытно методических работах профильных производственных организаций.

Специалисты компании стояли у истоков разработки оборудования для магнитотеллурического и аудио магнитотеллурического зондирования (МТЗ и АМТЗ). Первые приборы на основе торсионных магнитостатических датчиков [1] были созданы и применены еще в 90х годах прошлого столетия. Академические работы с использованием оборудования, созданного сотрудниками компании, выполнялись в различных регионах планеты в том числе в обсерваториях Японии, Греции, Финляндии, Болгарии, в рамках исследовательских и коммерческих проектов в Исламской республике Иран, Объединённых Арабских Эмиратах, Соединённых Штатах Америки, в республиках Средней Азии и многочисленных регионах Российской Федерации.

За период деятельности компании её инженерами была разработана линейка индукционных многоцелевых датчиков табл. 1, рис. 1, применяющихся как в поисковой электроразведке, так и для решения широкого круга задач от мониторинга электромагнитной обстановки до специальных магнитометрических измерений. Всего было изготовлено и поставлено более 700 единиц оборудования и датчиков различных моделей российским и зарубежным потребителям.

Таблица 1.

| Параметр   | Характеристики датчиков серии IMS |                    |                    |                    |                    |                  |                  |  |
|--|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|--|
|  | IMS-003                           | IMS-005            | IMS-007            | IMS-008            | IMS-009            | IMS-010          | IMS-015          |  |
| Частотный диапазон, Гц   | 1-20000                           | 0,1-20000          | 0,001-10000        | 0,0001-1000        | 0,001-2000         | 0,0001-2000      | 0,0001-10000     |  |
| Собственный шум, нТ:(Гц) <sup>-1/2</sup> , не более:<br>на частоте 1 Гц, | 10 <sup>-3</sup>                  | 2*10 <sup>-3</sup> | 5*10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-4</sup>   | 2*10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-4</sup> |  |
| на частоте 1 000 Гц  | 10 <sup>-5</sup>                  | 5*10 <sup>-6</sup> | 10 <sup>-3</sup>   | 5*10 <sup>-6</sup> | 2*10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-5</sup> |  |
| Длина, мм  | 300                               | 560                | 810                | 1255               | 810                | 1055             | 1055             |  |
| Диаметр, мм  | 40                                | 62                 | 77                 | 77                 | 67                 | 67               | 62               |  |
| Масса, кг  | 2,0                               | 3,0                | 6,0                | 11,0               | 5,0                | 7,5              | 6,0              |  |
| Диапазон рабочих температур, °С  | -40 ... +70                       | -40 ... +70        | -40 ... +70        | -40 ... +70        | -40 ... +70        | -40 ... +70      | -40 ... +70      |  |

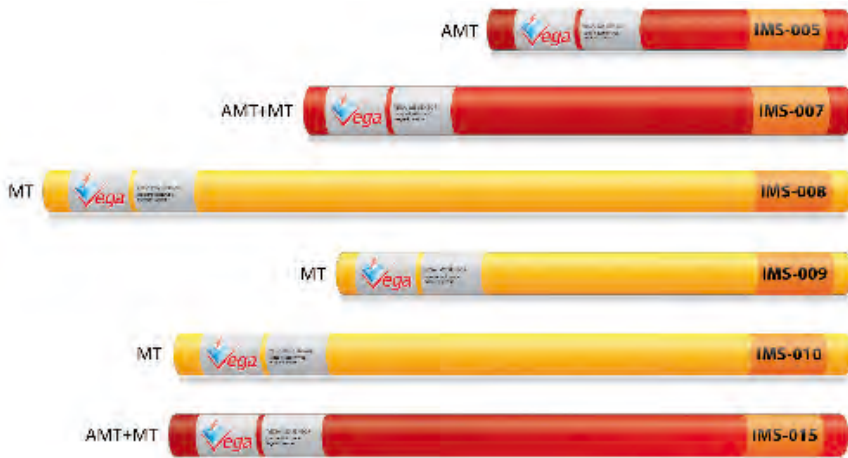


Рис. 1.

Технические характеристики датчиков ООО «ВЕГА» не уступают, а по некоторым параметрам превосходят известные на сегодняшний день лучшие зарубежные и отечественные аналоги. Наиболее близким по параметрам и функциональному назначению является оборудование канадской компании Phoenix и немецкой компании Metronix. Датчики серии IMS имеют сертификат государственного образца. На основе собственных измерительных датчиков в ООО «ВЕГА» разработаны и выпускаются магнитотеллурические станции VMTU-8, VMTU-10 рис. 2, станция магнитного мониторинга СММ-009, а также магнитотеллурическая станция NORD совместной разработки с ООО «Северо- Запад».



Рис. 2. VMTU-10

С каждым годом потребности инновационных технологий требуют от геолого-разведочной отрасли разведку новых, до настоящего времени не востребованных полезных ископаемых. У недропользователей растет интерес к лицензионным участкам на ТПИ, эта тенденция характерна как для России, так и для развивающихся стран Азии, Африки и Южной Америки. Традиционным на сегодняшний день, подходом к решению мало глубинных задач в электроразведке является метод зондирования с контролируемым источником. При всех положительных свойствах этого метода у него есть один недостаток. Он очень энергозатратен, то есть, требует в составе полевого отряда наличие генераторной группы с соответствующим оборудованием. Зачастую этот факт является ограничением для применения методики в труднодоступных местах и, кроме того, ведёт к удорожанию работ.

Метод магнитотеллурического зондирования или сокращённо МТЗ известен с середины прошлого века. Он основан на использовании в качестве зондирующего агента вариаций естественного переменного электромагнитного поля Земли [3]. МТЗ или его малоглубинная модификация аудиомантителлурическое зондирование АМТЗ, представляют собой разновидность индукционного зондирования. В отличие от так называемого активного индукционного метода известного как метод зондирования становлением поля или ЗСБ, МТЗ относится к пассивным не разрушающим и не загрязняющим окружающую среду методам исследования подстилающей поверхности. При проникновении электромагнитных волн в земную толщу магнитная составляющая электромагнитного поля затухает обратно пропорционально частоте, возбуждая в проводящей среде индуцированные токи, пропорциональные проводимости среды.

Для оперативного изучения лицензионных участков электроразведочными методами компания ВЕГА разработала недорогую аудиомантителлурическую станцию VAMT-23 с новыми компактными датчиками IMS-003. Легкий, функциональный, дешёвый, помещающийся в рюкзаке прибор вызвал большой интерес у российских и зарубежных специалистов, выполняющих геофизические работы. В настоящее время проводится тестирование прототипа станции VAMT-23.

Широкое внедрение станций VAMT-23 позволит реализовать два очень перспективных исследовательских направления: мониторинг распространения трещин во вмещающих породах при гидроразрыве нефтяных пластов (ГРП) и мониторинг электромагнитных параметров при добыче УВ в режиме реального времени. Эти два направления в мировой геологоразведочной практике ещё нигде не реализованы. Компанией предложена схема и методика мониторинга объектов ГРП, (рис. 3).

Намеченное на ближайшие десятилетия освоение арктических регионов России и развитие Северного морского пути делает актуальным геолого-геофизическое изучение перспективных на УВ акваторий полярных морей и дельт крупных северных рек. В ООО «ВЕГА» разработаны проекты и созданы прототипы донных электроразведочных станций для МТЗ-АМТЗ зондирований в переходных зонах акваторий для различных диапазонов глубин: 1–20 м, 5–50 м и 5–300 м. На рис. 4 представлен прототип донной электроразведочной станции АДММС-50.

Выполнение морских электроразведочных работ, особенно в приполярных областях, связаны с существенными трудностями. Это короткий период относительно теплой погоды, дрейфующие ледовые поля, штормовая погода, не позволяющая устанавливать донное оборудование. Кроме того, все работы выполняются со специализированного судна, аренда которого стоит очень дорого.

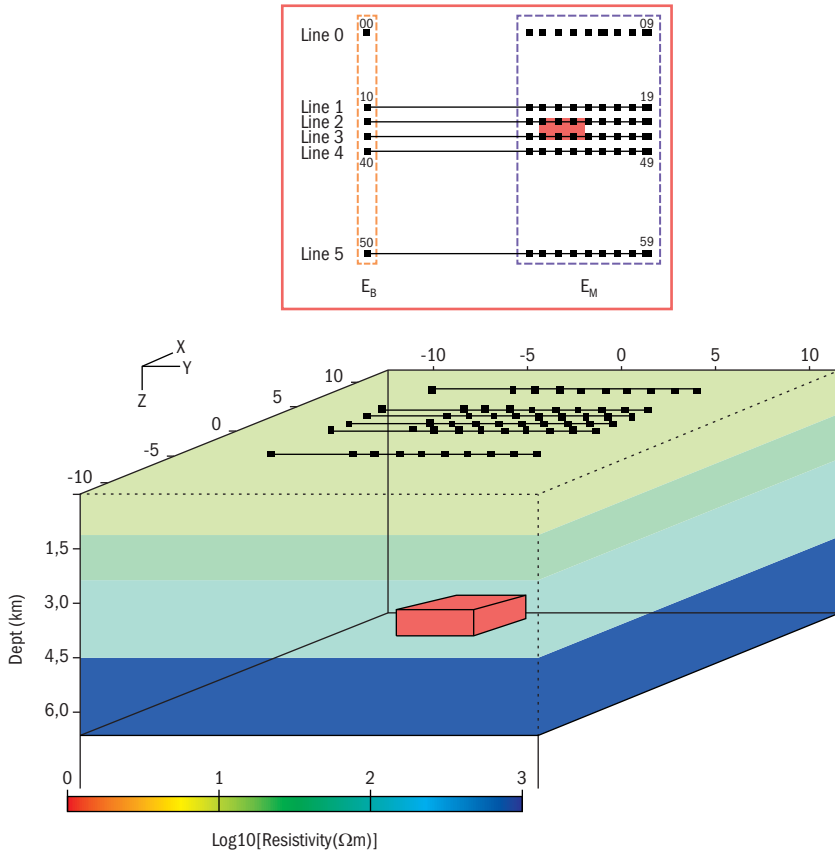


Рис. 3.

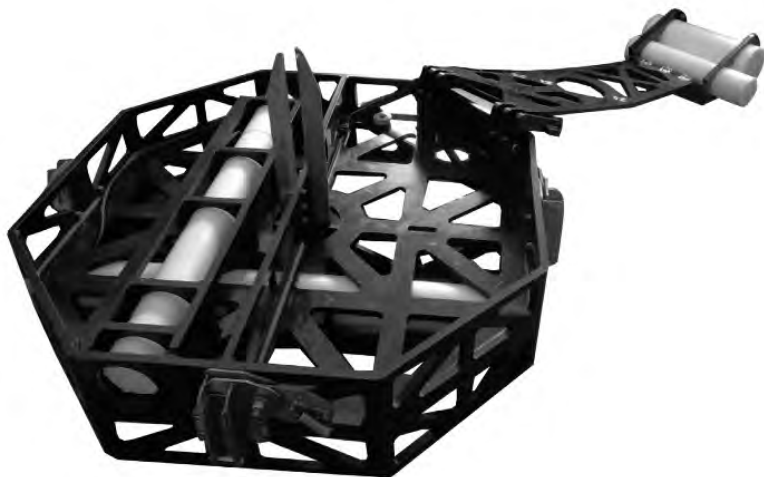


Рис. 4.

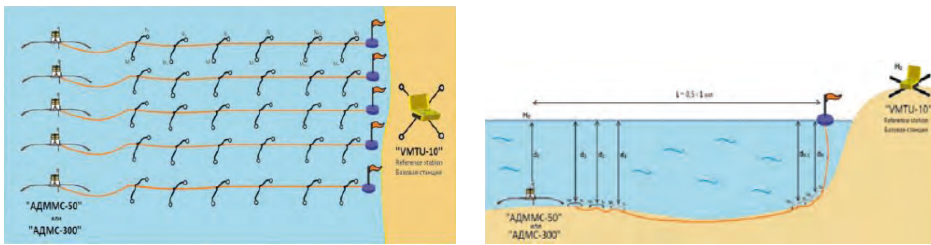
В свете последних тенденций по стимулированию инновационных и импортозамещающих технологий компания «ВЕГА» разработала и подала заявку на изобретение перспективной методики изучения подводных участков электроразведочными методами: Способы морского импедансного частотного зондирования и морского аудио магнитотеллурического зондирования и комплексы для их реализации (Поляков и др., 2023). Методика зондирования основана на использовании одиночной донной станции и длинных электрических линий. Внедрение данной разработки позволяет существенно сократить стоимость и трудоемкость проведения магнитотеллурических зондирований на шельфе при изучении перспективных участков, а также повысить производительность морских работ, (рис. 5).

Разработанный комплекс содержит управляемый источник зондирующего сигнала, расположенный на поверхности моря. Морские донные МТЗ-АМТЗ станции оснащены датчиками, измеряющими электрические и магнитные поля от контролируемого источника. Каждая МТЗ-АМТЗ станция оборудована лежащей на дне косой с электродами заземления, которые расположены в  $k$  точках на дне. Донная станция МТЗ-АМТЗ дополнительно оснащена системой позиционирования, батиметрическими датчиками и системой сбора данных.

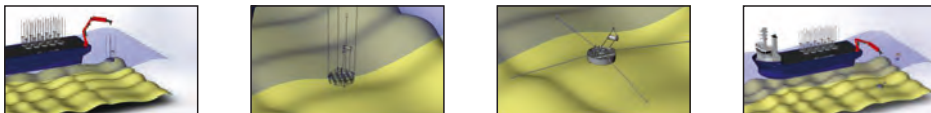
Измерительная установка может состоять из «неограниченного» количества станций с длинными электрическими линиями, покрывая, таким образом, всю площадь, запланированную для обследования. Такая схема измерительной установки позволяет быстро и оперативно провести трудоёмкие морские работы на большой площади с меньшими затратами.

Еще одним важным направлением деятельности компании является контроль качества и метрологическое обеспечение параметров выпускаемого оборудования. Калибровка и поверка магнитометров осуществляется при помощи современных мобильных (рис. 6) и стационарных (рис. 7) магнитноэкранирующих систем, в том числе собственной разработки.

**Перспективная методика проведения площадных электроразведочных работ в акваториях**



**Установка автономных донных МТ станций**



Установка автономных донных МТ станций

Рис. 5.

Мобильная магнитно-экранированная калибровочная установка производства ООО «ВЕГА» для исследования параметров и калибровки индукционных датчиков различных производителей. Изделие позволяет осуществлять испытания высокочувствительных датчиков в широком диапазоне частот в условиях промышленных помех.



Рис. 6.

Новейшим перспективным инновационным направлением разработок ООО «ВЕГА» является магнитно-экранированная комната (МЭК) изолирующая исследуемый объект от влияния естественных и искусственных электромагнитных полей. МЭК позволяет проводить тонкие эксперименты с очень чувствительными магнитными приборами в условиях промышленных помех. (ООО «Восточно-Европейская Геофизическая Ассоциация» («ВЕГА») [сайт]. URL: <https://vega-geo.net/ru/scientific-activity/>).



Рис. 7.

Может сложиться впечатление, что компания является монополистом рынка геофизического оборудования и услуг. Это не так. За рубежом аналогичное оборудование выпускается в больших объемах в Канаде компанией Phoenix Geophysics (MTU-5 и MTU-8). Эта марка широко известна как по всему миру, так и на территории стран СНГ не только своим высоким качеством, но и жёсткой агрессивной политикой фактически ограничившей отечественное геофизическое приборостроение. Производимое ею оборудование долгое время являлось эталоном и составляло основу российского парка электроразведочных станций для работ методом МТЗ. Не смотря на всемирную известность по техническим параметрам индукционные датчики Phoenix MTC-50 и MTC-150 уступают отечественным датчикам IMS-010 и IMS-015, а современные российские комплекты электроразведочной аппаратуры NORD и VMTU-10 нашли положительный отклик у производственных организаций.

В Западной Европе для выполнения работ методом МТЗ применяется оборудование немецкой фирмы Metronix. В США лидерами в производстве геофизического оборудования являются компании Geometrics и Zonge. Для всех приборов зарубежного производства характерной особенностью является очень высокая цена при отсутствии преимущества по техническим параметрам. Подробный сравнительный анализ приборов отечественных и западных производителей оборудования для работ методом МТЗ приводится в статье [2].

В Российской Федерации единственным производителем индукционных датчиков в промышленном масштабе является ООО «ВЕГА». Некоторые отечественные компании разработали и выпускают ограниченным тиражом свои регистраторы для сбора данных МТЗ, а также программное обеспечение к ним, но в качестве первичного измерителя переменного магнитного поля они используют индукционные

датчики ООО «ВЕГА» или зарубежные аналоги. Такое сотрудничество отечественных лидеров производителей геофизической аппаратуры привело к созданию импортозамещающей технологии и оборудования, позволившего составить ощутимую конкуренцию мировым гигантам производства геофизической аппаратуры.

Продукция с маркой ВЕГА известна многим компаниям в России и зарубежом: Геологический институт КФАН (г. Апатиты), ИПГ (г. Москва), ИРНТУ (г. Иркутск), НПО «Тайфун» (г. Обнинск), ИФЗ (г. Москва), АО «Электромера» (г. Санкт-Петербург), Геофизическая обсерватория «Борок», ООО Северо-Запад, ООО «СИГМА», DG LLC (США), Orange Lamp LLC (Китай), Институт ионосферы (Республика Казахстан).

## Заключение

Исследование любого геологического объекта геофизическими методами должно носить комплексный характер. Все применяемые в геологоразведке подходы имеют свои достоинства и недостатки, которые компенсируются подключением дополнительных методов, среди которых, кроме электроразведки и сейсмического метода, следует выделить гравиразведку и геохимический метод, позволяющие полнее изучить характеристики исследуемого объекта.

В этой связи внедрение инновационных решений позволяет дополнить уже имеющиеся сведения об исследуемой площади недостающим необходимым объемом данных для получения наиболее корректного ответа на вопрос о коллекторных свойствах потенциального месторождения УВ.

Инновационные разработки ООО «Вега» могут найти своё применение при поиске твердых полезных ископаемых, разведке новых и уточнению объёмов запасов уже разведанных геотермальных источников, разведке новых месторождений УВ на шельфе и континентальной части материков, поиске подземных вод.

Часть инновационных идей компании реализована в виде коммерческих продуктов, а часть находится на стадии тестирования технологий и методик, внедрение которых позволит повысить экономический эффект при проведении геологоразведочных работ.

## Библиография

1. Kopytenko Yu.A., Kopytenko E.A., Amosov L.G., Zaitsev D.B., Voronov P.M., Timoshenkov Yu.P. Magnetovariation Complex MVC-2. Proceedings of the VIth Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments Data Acquisition and Processing. September 18th-24th, 1994, Dourbes, Belgium, p.32-38.
2. Поляков С.В., Резников Б.И., Щенников А.В., Копытенко Е.А., Самсонов Б.В. Линейка индукционных датчиков магнитного поля для геофизических исследований. Сейсмические приборы. 2016. Т. 52, № 1, с.5-27.
3. Жданов М.С. Электроразведка. М. Недра, 1986. 314 с.
4. Поляков С.В., Копытенко Е.А., Самсонов Б.В. Способы морского импедансного частотного зондирования и морского аудио магнитотеллурического зондирования и комплексы для их реализации. Патент № 2023126507 от 16.10.2023 г.
5. ООО «Восточно-Европейская Геофизическая Ассоциация» («ВЕГА») [сайт]. URL: <https://vega-geo.net/ru/scientific-activity/> (Дата обращения: 29.03.2024)