

**Информация о ходе выполнения работ, выполняемых
по Соглашению № 14.577.21.0216 от 03 октября 2016 г. о предоставлении субсидии в
рамках федеральной целевой программы "Исследования и разработки по
приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России
на 2014-2020 годы"**

**1 Этап «Выбор направления исследований. Теоретические исследования
поставленных перед ПНИЭР задач (1-ой очереди)»**

1) Проведен аналитический обзор научно-технической литературы, касающейся методов многомерной обработки данных электромагнитных зондирований, который показал, что инверсии, базирующиеся на 2D- или 3D-моделировании, позволяют с гораздо большей степенью адекватности восстанавливать структуру исследуемой среды, а упрощенные и 1D-подходы нередко дают искаженные результаты, особенно при измерениях вблизи локальных неоднородностей. В большинстве работ, посвященных реализации и использованию многомерных инверсий для обработки данных морской электроразведки, используется подход, нацеленный на определение удельной проводимости в ячеистых структурах. Однако приведенные в публикациях данные и проведенный в данной работе сравнительный анализ показал, что инверсии в ячеистых структурах, во-первых, позволяют выявлять только обособленные 3D-объекты в достаточно однородных средах, практически не позволяют определять положения границ этих объектов (достаточно хорошо выявляя лишь их центры) и к тому же очень вычислительно затратны. В противоположность этому геометрические инверсии (в зарубежных публикациях «parametrical inversion» или «model-based inversion») позволяют гораздо более четко оконтуривать многомерные неоднородности и за счет этого не только более точно определять границы целевых объектов, но и гораздо качественнее «убирать» влияние приповерхностных объектов-помех, из-за которых при использовании ячеистых инверсий вполне могут появляться ложные объекты на тех глубинах, где ищутся целевые объекты. Эти преимущества геометрических инверсий особенно важны при решении практических задач морской электроразведки, когда глубинные целевые объекты (месторождения) имеют сложную морфологию, требуется максимально точно определить их границы, и при этом месторождения могут быть перекрыты сверху латерально неоднородными слоями.

2) Были проведены патентные исследования, задачами которых было определение технического уровня и тенденций развития способов и технологий морской электроразведки и используемых в них методов обработки данных, анализ возможности

использования известных объектов промышленной собственности при выполнении ПНИЭР и анализ деятельности хозяйствующего субъекта и перспектив ее развития. Было установлено, что предлагаемые к разработке методы многомерной обработки данных морской электроразведки с учетом различных 3D-неоднородностей (рельефа дна, придонных неоднородностей и неоднородной удельной проводимости морской воды) актуальны и позволят существенно повысить качество обработки практических данных и усовершенствовать технологии поиска и разведки месторождений углеводородов в морских условиях.

3) Были разработаны варианты возможных решений поставленной задачи, проведены предварительные исследования с использованием программного обеспечения предыдущего поколения и выполнены пробные программные реализации некоторых ключевых предлагаемых в ПНИЭР программно-технических решений. На основании этого были выбраны и обоснованы программно-технические решения, которые будут заложены в разрабатываемый ЭО ПК в части

а) вычислительных схем и аппроксимаций для 3D-моделирования;

б) алгоритмов построения оптимизированных нерегулярных несогласованных конечноэлементных сеток, которые будут строиться полностью автоматически и при этом будут обеспечивать требуемую точность численных решений при высокой вычислительной эффективности их получения, а также учитывать изменяющиеся границы слоев, не приводя при этом к излишнему увеличению размера конечноэлементных СЛАУ;

в) использования прямых решателей конечноэлементных СЛАУ, которые за счет различных вариантов группирования отдельных подзадач позволят существенно повысить вычислительную эффективность;

г) использования специальной математической модели для расчета полей вызванной поляризации (ВП), позволяющей построить гораздо более экономичные вычислительные схемы восстановления параметров ВП;

д) построения нового алгоритма 3D-инверсий данных морской электроразведки, базирующегося на принципах геометрической инверсии и позволяющего в процессе восстановления трехмерного распределения проводимости геоэлектрической модели разделять индукционные процессы и процессы вызванной поляризации, что, в свою очередь, позволит существенно повысить вычислительную эффективность, а также устойчивость и качество поиска искомых параметров геологической среды.

4) Разработан полный набор математических моделей для расчета электромагнитного поля и поля ВП, возбуждаемых электрической линией в морских геоэлектрических условиях, адекватно описывающих физические процессы на

постоянном токе, электродинамические процессы в частотной и временной областях, а также процессы ВП в сложных трехмерных геологических средах. Построены вариационные постановки и соответствующие конечноэлементные аппроксимации. Кроме того, в ходе разработки математических моделей предложены и разработаны следующие новые модели и технологические решения, а именно:

а) предложен новый способ конечноэлементного расчета трехмерного электромагнитного поля на нерегулярной несогласованной сетке с формированием согласованных базисных функций из несогласованных и с соответствующей процедурой ассемблирования локальных матриц;

б) предложен новый способ группирования подзадач по временам при моделировании электромагнитных полей во временной области;

в) предложены новые модели для расчета нормального поля, которые будут эффективны при необходимости его вычисления сразу в большом количестве точек (что необходимо при расчете аномального трехмерного поля, особенно при использовании группирования по положениям приемно-генераторной установки).

5) Разработан полный набор математических моделей для решения трехмерных обратных задач, учитывающих нелинейную зависимость регистрируемых в приемниках сигналов электромагнитного поля от координат границ объектов и их удельной проводимости и включающих в себя расчет функционала невязки на основе 3D-моделирования электрических полей на постоянном токе, электромагнитных полей в частотной и временной области и полей ВП, возбуждаемых электрической линией. Предложен новый подход к 3D-инверсии во временной области, позволяющий разделять сигналы становления поля и ВП, тем самым позволяя снизить области эквивалентности и, следовательно, повысить устойчивость поиска параметров геологических структур.

б) Разработаны алгоритмы 3D-моделирования, обеспечивающие возможность расчета электромагнитного поля и поля ВП, возбуждаемых электрической линией в морских геоэлектрических условиях, включая сложно-построенные геологические среды и изменяющийся рельеф дна. Предложены новые алгоритмы построения нерегулярных несогласованных сеток, которые за счет оптимизации структуры расчетной области, возможности «встраивания» трехмерных объектов и выполнения локальных дроблений при сохранении небольшого количества узлов будут обеспечивать необходимую точность численных решений. Сделаны первые реализации этих алгоритмов. Предложены новые алгоритмы построения матрицы перехода для построения согласованных базисных функций на несогласованных сетках.

7) Разработаны алгоритмы 3D-инверсий данных морской электроразведки с явным определением морфологии (положения границ в плане), глубины залегания и геоэлектрических свойств поисковых геологических 3D-объектов в средах, характерных для морских геоэлектрических условий, включая условия арктического шельфа.

8) В полном соответствии с разработанными математическими моделями и алгоритмами разработана общая архитектура ЭО ПК. Она разработана с учетом максимально полной загрузки предоставляемых вычислительных мощностей, а также с учетом всех трех видов группирования: по положениям приемно-генераторной установки, по временам и по подобластям с аномальной поляризуемостью. Все это за счет использования прямых решателей позволит на несколько порядков увеличить вычислительную эффективность без увеличения вычислительных ресурсов.

9) Разработана структура отдельных программных модулей.

10) Проведен анализ практических данных, который позволил определить уровень возможных шумов и мешающих факторов и разработать соответствующие требования к ЭО ПК.

11) Проведено решение характерных для морской электроразведки задач с использованием имеющегося программного обеспечения предыдущего поколения. Показаны возможности технологий морской электроразведки и представлены предложения по включению новых инструментов для сопровождения технологий как во временной, так и в частотной области в разрабатываемый ЭО ПК.