УДК 550.837.63, 550.837.211

ОПЫТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ПОЛЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЛЭП «УРЕНГОЙ – ПАНГОДЫ» В КОМПЛЕКСЕ С АМТ-МТ-ЗОНДИРОВАНИЯМИ

А.А.ЖАМАЛЕТДИНОВ, *д-р геол.-минерал. наук, главный научный сотрудник, abd.zham@mail.ru*
Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, Россия
А.Н.ШЕВЦОВ, *канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, anshev2009-01@rambler.ru*
Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия
В.В.КОЛОБОВ, *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, kolobov@adm.kolasc.net.ru*
Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН, Апатиты, Россия
М.С.ПЕТРИЩЕВ, *канд. техн. наук, заведующий сектором, ms_petr@mail.ru*
Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, Россия

На территории Ямало-Ненецкого национального округа (ЯНАО) в 2011 и 2012 годах выполнены электромагнитные зондирования в поле промышленной ЛЭП «Уренгой – Пангоды», в поле антенны сверхнизкочастотного излучения «Зевс», расположенной на Кольском полуострове, и в полях естественных источников (АМТ-МТЗ). В разрезе установлены проводящие слои на глубинах в первые сотни метров и свыше 1 км, связываемые с изменениями литологического состава, пористости и флюидонасыщенности горных пород. Результаты исследований показали перспективность применения комплексных электромагнитных зондирований с естественными и мощными контролируемыми источниками для прослеживания на глубине газонефтеперспективных горизонтов в осадочном чехле Западно-Сибирской платформы на территории ЯНАО.

***Ключевые слова*:** электромагнитное зондирование, естественные и контролируемые источники, промышленные линии электропередачи.

Введение. Эффективность электромагнитных зондирований определяется, прежде всего, возможностью проведения исследований с максимально высоким соотношением «сигнал – шум» и на максимально больших глубинах. Повышение глубинности электроразведки с контролируемым источником достигается за счет больших разносов между питающими и приемными линиями и максимально низкого (с соблюдением условий дальней зоны) частотного диапазона, а также повышения мощности излучающих устройств. Мощность излучающих устройств, или сила источника [5], определяется размерами питающих линий и силой тока. Для заземленных линий сила источника определяется как электрический момент P, равный произведению силы тока на длину линии; для магнитных петель – это магнитный момент M, равный произведению силы тока на площадь петли. Электрический P и магнитный M моменты линейно входят в выражения для электрических и магнитных компонент полей дипольных источников. Это означает, например, что для увеличения вдвое глубины зондирования с электрическим диполем фиксированной длины, учитывая, что поле изменяется обратно пропорционально кубу расстояния, необходимо увеличить силу тока в 8 раз. При использовании магнитного диполя в этих же условиях необходимо увеличить силу тока в 16 раз. В приведенных оценках речь идет о формальном понятии глубинности, основанном на расчетах изменения горизонтальной составляющей плотности тока с глубиной в однородном нижнем полупространстве. В реальных условиях неоднородных сред понятие глубинности имеет существенно более сложный характер [4].

Увеличение силы сигнала при неизменных размерах питающих линий может быть достигнуто либо путем увеличения мощности генераторного устройства, либо за счет накопления повторяющихся посылок однотипных сигналов с заданной строго контролируемой частотой. Однако и тот и другой подходы имеют свои ограничения. Увеличение мощности генераторных устройств ведет к резкому удорожанию работ, поскольку, как уже отмечалось, для увеличения глубины зондирования вдвое требуется увеличение силы тока в 8 раз, а мощность генератора ($W = UI$) при этом должна быть увеличена в 64 раза. Более легким путем является простое накопление в приемнике многократно повторяющихся сигналов слабого источника. Соотношение «сигнал – шум» при этом увеличивается пропорционально корню квадратному от числа посылок.

Электромагнитные зондирования с мощными контролируемыми источниками, обозначим их CSEMS (Control Source ElectroMagnetic Sounding), обладают, в сравнении с магнитотеллурическим зондированием (МТЗ), тем преимуществом, что положение и конфигурация источника точно известны, может быть выбран оптимальный частотный диапазон зондирования и, что самое главное, может быть задана высокая точность генерируемых частот, например, с точностью до 3-го или 4-го знака после запятой. Это существенно повышает надежность выделения полезного сигнала на фоне шумов. Современные мощные генераторные устройства [3, 8] позволяют создавать электромагнитные поля высокой интенсивности, а компьютеризированные цифровые измерительные системы [6, 7, 14] – накапливать большие массивы данных в широком динамическом диапазоне (24 дБ и более) и оперативно оценивать соотношение «сигнал – шум» непосредственно в поле.

Несмотря на отмеченные достоинства, глубинные зондирования CSEMS широко не применяются из-за высокой стоимости работ, связанной с необходимостью использования дорогостоящих генераторных устройств и питающих линий.

Отмеченные недостатки CSEMS существенно снижаются при использовании промышленных ЛЭП и заземлений подстанций в качестве элементов излучающих антенн. В мировой практике известно большое число работ такого рода. Их рассмотрение с соответствующими литературными ссылками можно найти в работах [4, 12]. Заметим, что большинство экспериментов по глубинному зондированию с промышленными ЛЭП не вышли за рамки уникальных исследовательских проектов, нацеленных на решение задач фундаментальной геоэлектрики. В настоящей работе представлен первый опыт проведения исследований с промышленными ЛЭП в комплексе с аудимагнитотеллурическим и магнитотеллурическим зондированиями (АМТ-МТЗ) для задач структурной электроразведки в пределах газонефтеперспективных территорий Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО).

В 2011 г. на территории ЯНАО проводились исследования с применением сверхнизкочастотного (СНЧ) источника «Зевс» в комплексе с МТ-АМТ-зондированиями [10]. В 2012 г. были проведены экспериментальные исследования с промышленной ЛЭП «Уренгой – Пангоды» путем подключения к ней генератора «Энергия-2» мощностью 200 кВт в июне месяце и портативного генератора «Энергия-3» мощностью 2 кВт в сентябре месяце. В настоящей работе представлены результаты сентябрьских исследований 2012 г. с портативным генератором «Энергия-3».

Описание района исследований. Район исследований показан на рис.1. Контуром 1 (рис.1, *а*) ограничена предполагаемая область зондирований с генератором «Энергия-2» мощностью 200 кВт (порядка 200 тыс.км^2). Контуром 2 (рис.1, *б*) отмечена практически достигнутая площадь исследований с портативным генератором «Энергия-3» мощностью 2 кВт (порядка 40 тыс.км^2). Основное внимание было обращено на проведение исследований в районах сверхглубоких скважин СГ-6 (Тюменская) и СГ-7 (Ен-Яхинская). Скважина СГ-6 (забой на глубине 7502 м) находится в 60 км к востоку от гигантского Нижне-Уренгойского месторождения газа, в районе положительной гравитационной аномалии, протянувшейся в меридиональном направлении вдоль Уренгойско-Колтозерского грабен-

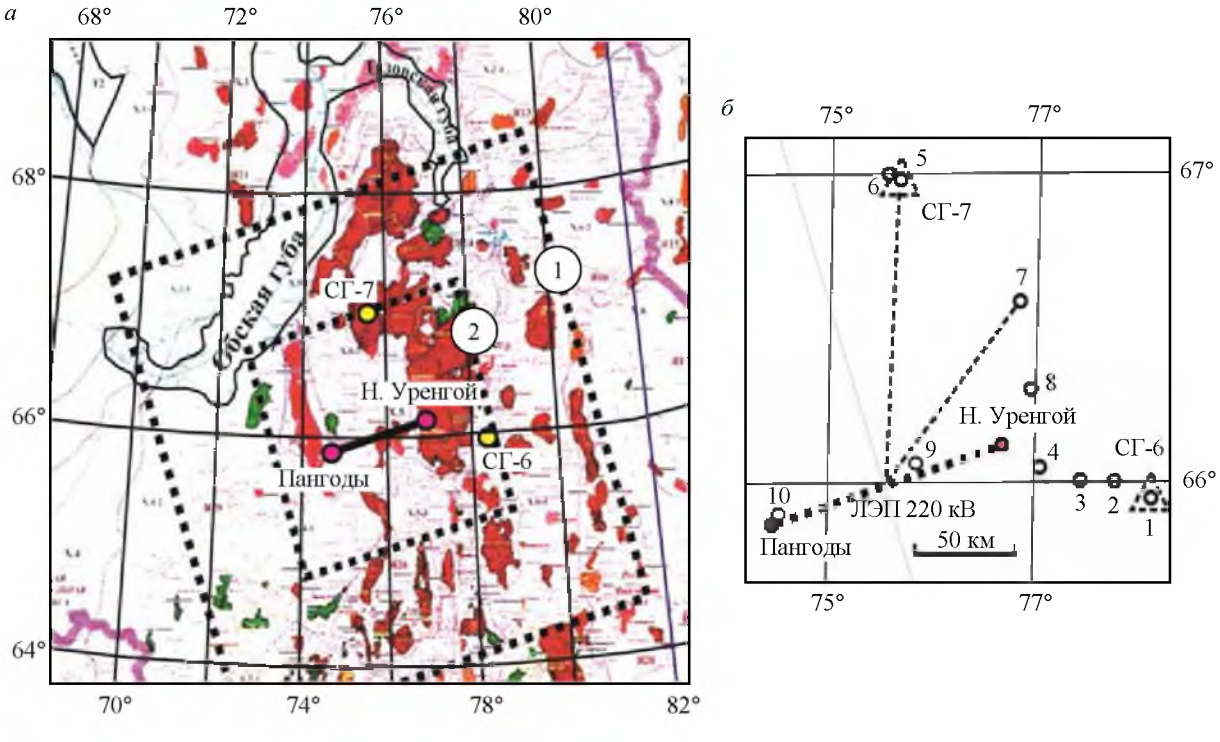


Рис.1. Схема района работ: *а* – расчетные контуры районов, доступных для глубинного зондирования при подключении к ЛЭП «Уренгой – Пангоды» генератора «Энергия-2» (1) и генератора «Энергия-3» (2); темными пятнами обозначены области нефтегазоносности; *б* – положение пунктов зондирования в поле ЛЭП «Уренгой – Пангоды»

рифта [2]. Непосредственно Нижнеуренгойское месторождение приурочено к Уренгойскому валу, установленному по данным электроразведки методом магнитовариационного профилирования в начале 60-х годов [1]. Скважина СГ-7 забурена в 2000 г. на месторождении Большой Уренгой, на Песцовом валу, в 160 км к северо-западу от СГ-6 в области отрицательной гравитационной аномалии [2]. К настоящему времени на ней достигнута рекордная для осадочных бассейнов России глубина 8250 м.

Регистрация сигналов осуществлялась с применением двух пятиканальных широкополосных станций VMTU-10 (ООО «ВЕГА», Россия) [14]. Сигнал в питающую линию ВЛ «Уренгой – Пангоды» подавался от портативного генератора «Энергия-3» мощностью

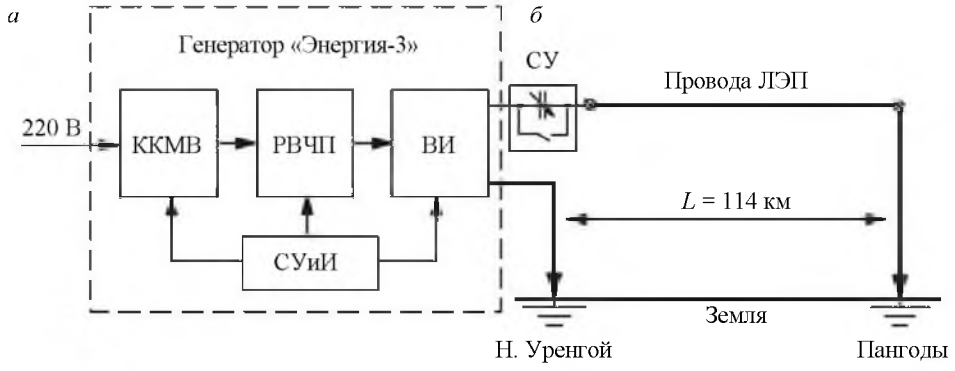


Рис.2. Структурная схема портативного КНЧ-СНЧ генератора «Энергия-3» (*а*) и схема его подключения к ВЛ 220 кВ «Уренгой – Пангоды» (*б*)

ККМВ – корректор коэффициента мощности – выпрямитель; РВЧП – развязывающий высокочастотный преобразователь; ВИ – выходной инвертор; СУиИ – схема управления и индикации; СУ – согласующее устройство

2 кВт в диапазоне частот 0,2-175 Гц. Сила тока в линии изменялась в пределах от 5-7 А на высоких частотах (100 Гц и выше) до 12-15 А на частотах 1 Гц и ниже.

Принципиальная схема подключения портативного генератора к промышленной ЛЭП «Уренгой – Пангоды» показана на рис.2.

Конкретной задачей работ явилось проведение тестовых наблюдений электромагнитного поля по двум профилям – субширотному, проходящему на траверсе сверхглубокой

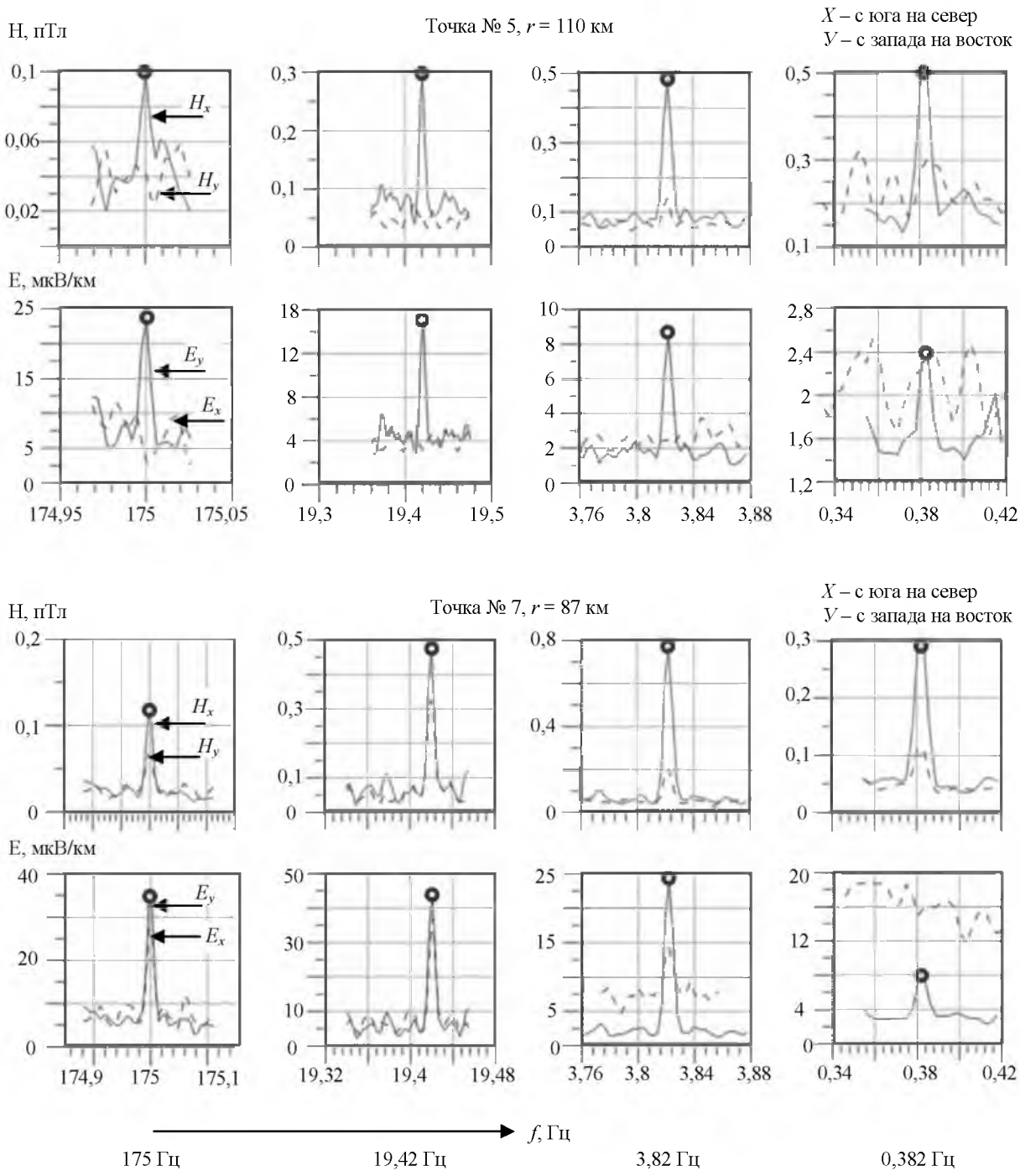


Рис.3. Спектры амплитуды электрических и магнитных компонент поля по результатам измерения сигналов портативного генератора мощностью 2 кВт, который подключен к ВЛ 220 кВ «Уренгой – Пангоды» в точках 5 и 7, удаленных от центра ЛЭП соответственно на 110 и 87 км. Положение точек зондирования показано на рис.1, *б*

скважины СГ-6 (Тюменской), и субмеридиональному, проходящему на траверсе сверхглубокой скважины СГ-7 (Ен-Яхинской). Измерения поля портативного генератора «Энергия-3», подключенного к промышленной ЛЭП «Уренгой – Пангоды», выполнены в восьми пунктах, расположенных вдоль дорожных магистралей примерно в широтном и в меридиональном направлениях (рис.1, *б*). В каждой точке зондирования проводились суточные записи МТ-АМТ-поля. Все записи АМТ-МТЗ выполнялись с применением синхронных наблюдений на удаленной точке (reference point) для устранения помех. Кроме того, в районе приемных линий АМТ-МТЗ проводились вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) на постоянном токе с разносами до 500 м.

Анализ всех результатов АМТ-МТЗ в комплексе с ВЭЗ и с зондированиями в поле промышленной ЛЭП будет представлен в следующей публикации. Отметим только, что данные АМТ-МТЗ (за исключением точки 5) оказались сильно подверженными влиянию помех из-за большого количества трубопроводов и промышленных энергоустановок, расположенных вдоль дорожной сети. Данные ВЭЗ тоже оказались разнородными из-за влияния островной мерзлоты. Разбросы между значениями кажущегося сопротивления по данным ВЭЗ на соседних точках достигали 2-3 порядков. В то же время результаты измерений поля, создаваемого промышленной ЛЭП «Уренгой – Пангоды» с подключенным к ней генератором «Энергия-3», несмотря на отмеченную по данным ВЭЗ неоднородность разреза, оказались весьма стабильными по форме и уровню значений кажущегося сопротивления. Разброс значений кажущегося сопротивления в пересчете из спектральных амплитуд между соседними точками на одних и тех же частотах не превышал 0,5 порядка (рис.3).

Точка 5 (рис.3) расположена близко к экваториальной зоне, на удалении 110 км от центра линии. Точка 7 расположена под углом, близким к 45° от оси питающей линии, на удалении 87 км. Можно видеть, что сигналы ЛЭП уверенно регистрируются на обеих точках как по электрической, так и по магнитной компонентам – вплоть до частоты 3,8 Гц. Примечательно, что амплитуда поля слабо изменяется с увеличением расстояния между источником и приемником. Выполненные расчеты показывают, что частично такое поведение поля объясняется за счет разной геометрии установки и частично за счет ионосферного влияния, усиливающегося с удалением от источника. В районах скважин СГ-6 и СГ-7 была осуществлена также регистрация сигналов антенны сверхнизкочастотного (СНЧ) излучения «Зевс», расположенной на Кольском полуострове [8]. Пример регистрации сигналов показан на рис.4.

Источник «Зевс» работал попеременно на пяти частотах: 188, 144, 82, 62 и 44 Гц. Сигналы уверенно зарегистрированы в районе обеих скважин (СГ-6 и СГ-7). При этом можно видеть, что в районе скважины СГ-6 шумы значительно выше в сравнении с СГ-7, особенно по электрическому полю. Преобладание электрических помех указывает на их гальваническую природу и на близкое расположение источника. Можно отметить также, что, несмотря на значительное (160 км) расстояние между скважинами, интенсивность сигнала по магнитному полю практически не изменяется с удалением от источника, а по электрическому полю сигнал в районе более удаленной от источника скважины СГ-6 даже сильнее, чем в скважине СГ-7. Такое поведение поля хорошо объясняется более высоким сопротивлением верхней части разреза в районе СГ-6.

Результаты совместной интерпретации зондирований с естественными и контролируемыми источниками приведены на рис.5 на примере измерений вблизи сверхглубокой скважины СГ-7 (Ен-Яхинской). Интерпретация выполнена на основе данных зондирования с портативным генератором «Энергия-3» и высоковольтной ЛЭП «Уренгой – Пангоды» в диапазоне высоких частот 175-3,82 Гц и с учетом данных МТ-зондирования в диапазоне периодов 0,25-1000 с.

Были также выполнены зондирования с источником «Зевс» (рис.5). Полученные отклики соединены с откликами регионального магнитовариационного зондирования (периоды

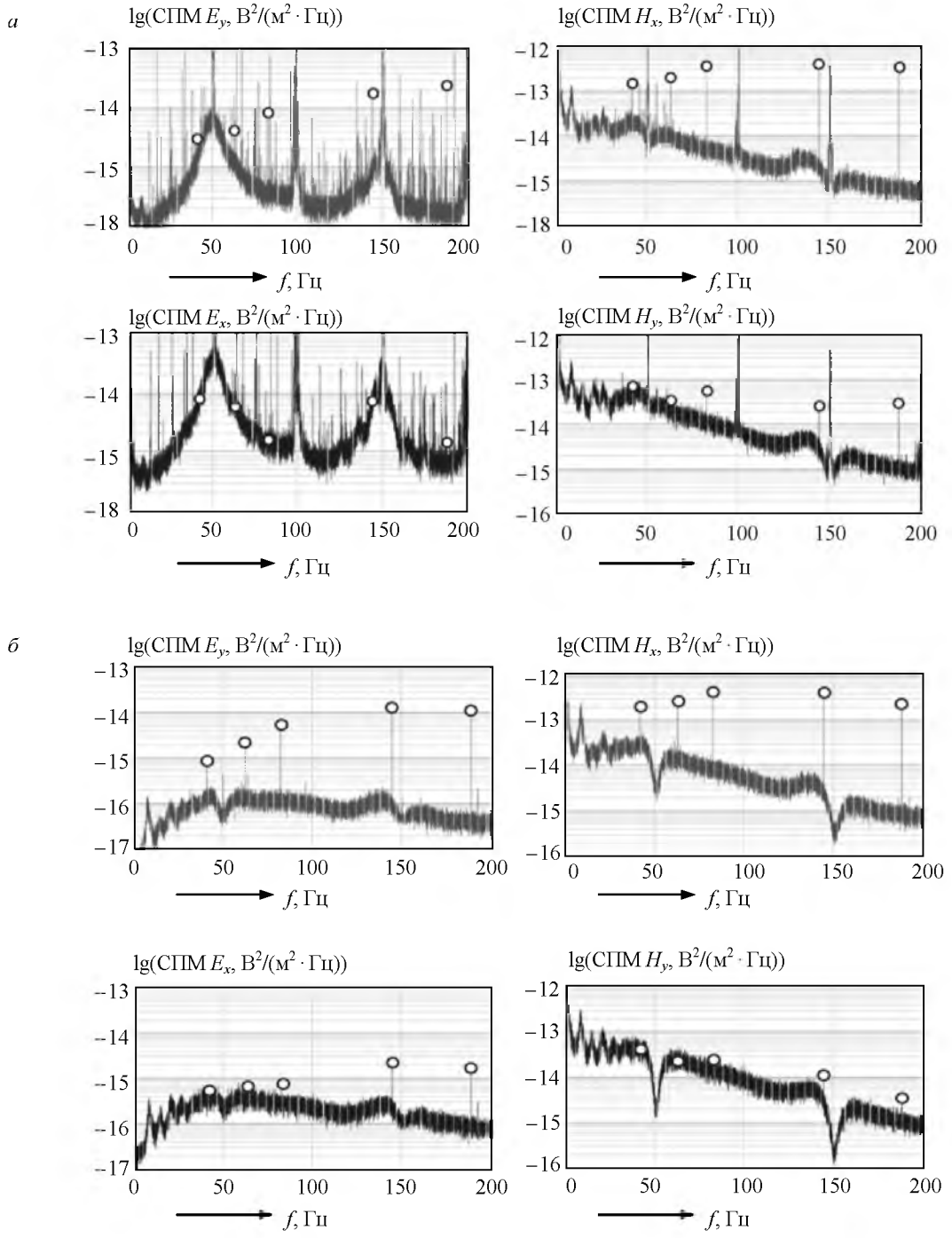


Рис.4. Диаграммы спектров плотности мощности (СПМ) электрического (E_y) и магнитного (H_x) поля по результатам регистрации сигналов СНЧ-антенны «Зевс» в районе скважин СГ-6 (*а*) и СГ-7 (*б*). Положение пунктов приема показано на рис.1, *б*

более 10^4 с). Промежуток между ними (интервал периодов 0,25-10^3 с) был заполнен результатами магнитотеллурического зондирования. По полученному набору оценок комплексного кажущегося сопротивления (модуля и фазы), включая их доверительные интервалы, которые определяют коридор возможных решений, выполнена инверсия OCCAM [13], где выбирается вариант с максимально плоской моделью среды для экспериментальных данных. При таком варианте решения подбирается кривая, максимально точно соответствующая

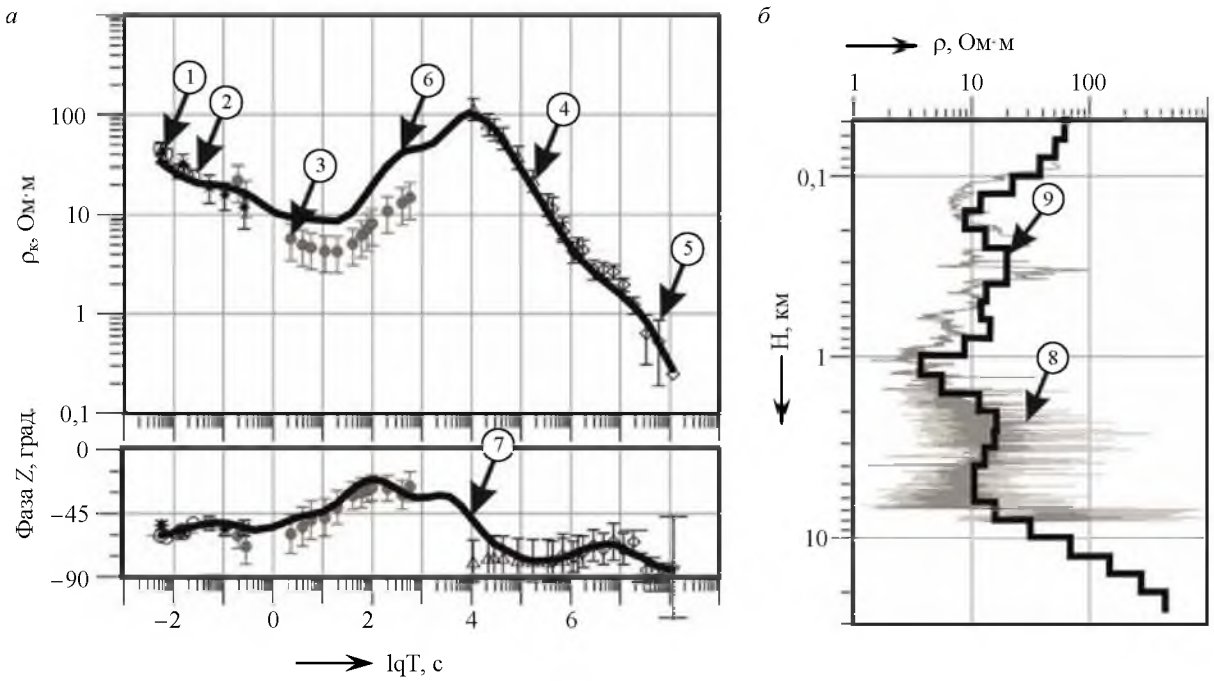


Рис.5. Результаты глубинного зондирования в поле естественных и контролируемых источников в районе сверхглубокой скважины СГ-7:

а – кривые кажущегося сопротивления и фазы: 1 – по измерениям поля СНЧ-антенны «Зевс» (звездочки); 2 – то же, ЛЭП «Уренгой – Пангоды» (кружки); 3 – АМТ-МТ-зондирования; 4 – данные МВЗ обсерватории «Новосибирск», обработанные по методике [15] с использованием программы [11] (треугольники); 5 – данные глобального зондирования [9] (ромбы); 6 – модельная кривая по результатам решения обратной задачи по модулю кажущегося сопротивления; 7 – то же по фазе импеданса;

б – электрические разрезы: 8 – по данным электрического каротажа, 9 – по результатам решения обратной задачи частотного зондирования с источниками 1-3

экспериментальным оценкам и их доверительным интервалам с учетом заданных параметров точности и разбиения на слои (детальности) разреза, т.е. такую кривую искусственно сглаживать не требуется. Последний подход (сглаживание), безусловно, позволяет искусственно снизить случайную ошибку экспериментальных оценок, но при этом велика возможность исказить экспериментальные данные (простой пример – облако значений, через которое возможно как угодно провести кривую) и потому такой подход нами не практикуется.

Полученное распределение сопротивления от глубины (кривая 9 на рис.5, *б*) достаточно хорошо согласуется с данными электрического каротажа в стволе скажины (кривая 8 там же). Частотные кривые кажущегося сопротивления такого разреза приведены на рис.5, *а* в виде модуля кажущегося сопротивления (кривая 6) и фазы импеданса (кривая 7). Следует отметить, что эти кривые, очевидно в силу близости одномерной модели и данных каротажа, хорошо согласуются с частотными кривыми, полученными в результате решения прямой задачи по данным каротажа (на рис.5, *а* не приведены).

Можно видеть, что результаты измерений кажущегося сопротивления в поле двух различных типов контролируемых источников и на разных удалениях от точки приема (2000 км – источник «Зевс» и 110 км – ЛЭП «Уренгой – Пангоды») уверенно совпадают между собой и согласуются с кривыми 6 и 7.

Результаты МТЗ представлены в виде средних значений кажущегося сопротивления с доверительными интервалами (обозначены кружками 3 на рис.5, *а*). Экспериментальная кривая МТЗ повторяет форму модельной кривой 6, но смещена параллельно вниз по оси сопротивлений почти на половину порядка. Смещение объясняется тем, что обработка результатов зондирований с естественными и контролируемыми источниками выполнена

преимущественно по импедансу $Z_{yx} = E_y/H_x$, т.е. только по одной паре сопряженных компонент E_y и H_x, где E_y ориентирована по широте (электрическое поле) и H_x ориентирована по меридиану (магнитное поле), что соответствует субширотной ориентировке излучающих линий контролируемых источников – «Зевс» и ЛЭП «Уренгой – Пангоды».

Отметим, что кривые кажущегося сопротивления МТЗ по результатам наблюдений 2011 г., опубликованные в [10], в этом же диапазоне частот располагаются на половину порядка выше и практически сливаются с модельной кривой 6 на рис.5, *а*. Объясняется это тем, что в 2011 г. обработка МТЗ выполнялась путем поворота системы координат измерительной линии на направление, в котором дополнительные компоненты тензора сопротивлений пренебрежимо малы. Этот азимут составил 30° к западу. Для удобства анализа на рис.5 приведена кривая МТЗ, измеренная в том же азимуте, что и кривая зондирования в поле контролируемых источников, т.е. для широтной электрической и меридиональной магнитных компонент. При этом необходимо отметить, что в поле контролируемых источников значения кажущегося сопротивления существенно слабее зависят от угла поворота измерительной системы, чем в методах МТ-АМТ-зондирования. Причина этого явления не совсем понятна. Тем не менее, мы неоднократно наблюдали в Карело-Кольском регионе и в Центральной Финляндии [4] стабильность результатов зондирований с контролируемыми источниками (независимость от ориентировки источника и измерительной системы), тогда как данные МТЗ сильно зависели от ориентировки измерительной системы и распадались на минимальные и максимальные кривые, различающиеся иногда на несколько порядков.

Для примера на рис.4 значения кажущегося сопротивления источника «Зевс» в двух взаимно ортогональных направлениях определены непосредственно из диаграмм спектральной плотности мощности. Для этого достаточно воспользоваться формулой.

$$\rho_T = \frac{\left|Z_{yx}\right|^2}{\omega\mu_0} = 0{,}127T\frac{СПМ_{Ey}}{СПМ_{Hx}}10^6.$$

Полученные таким образом значения кажущегося сопротивления по импедансу Z_{yx} с точностью 10 % совпадают со значениями кажущегося сопротивления по данным АМТ-МТЗ, что указывает на высокую степень горизонтальной однородности разреза осадочного чехла в районе скважины СГ-7.

При обработке результатов эксперимента 2012 г. в решение обратной задачи было введено методическое усовершенствование. Оно заключается в том, что больший вес придавался результатам зондирований с контролируемыми источниками (CSEMS) на коротких периодах 0,005-0,25 с (кружки 1 и 2 на рис.5, *а*), а также геомагнитным откликам полей естественных источников на самых длинных периодах 10^4-10^8 с (глубинное магнитовариационное зондирование (ГМВЗ), кружки 4 и 5 на рис.5, *а*). В среднем диапазоне периодов решение обратной задачи выполнялось с опорой на фазовую кривую импеданса МТЗ (обозначена кружком 7 на рис.5, *а*). Как известно, в диапазоне МТЗ наиболее велика опасность статических искажений, приводящих к смещению кривой кажущегося сопротивления. Фазовая кривая свободна от этого влияния, но нуждается в количественной привязке по уровню значений кажущегося сопротивления. Эта задача в принятом алгоритме решения обратной задачи выполняется с помощью отмеченной выше привязки к высокочастотным (CSEMS) и низкочастотным (ГМВЗ) ветвям глубинного зондирования. Подобранный разрез (разрез 9 на рис.5, *б*) близко согласуется с результатами каротажа сопротивления, (кривая 8 на рис.5, *б*).

В верхней части разреза земной коры (в пределах осадочного чехла) выделяются три слоя пониженного сопротивления: в интервале глубин 100-200; 800-1500 и 4-7 км (рис.5, *б*). Глубже 7 км наблюдается резкое увеличение сопротивления, связываемое с вулканогенно-осадочными образованиями пермо-триасового основания осадочного чехла (траппов).

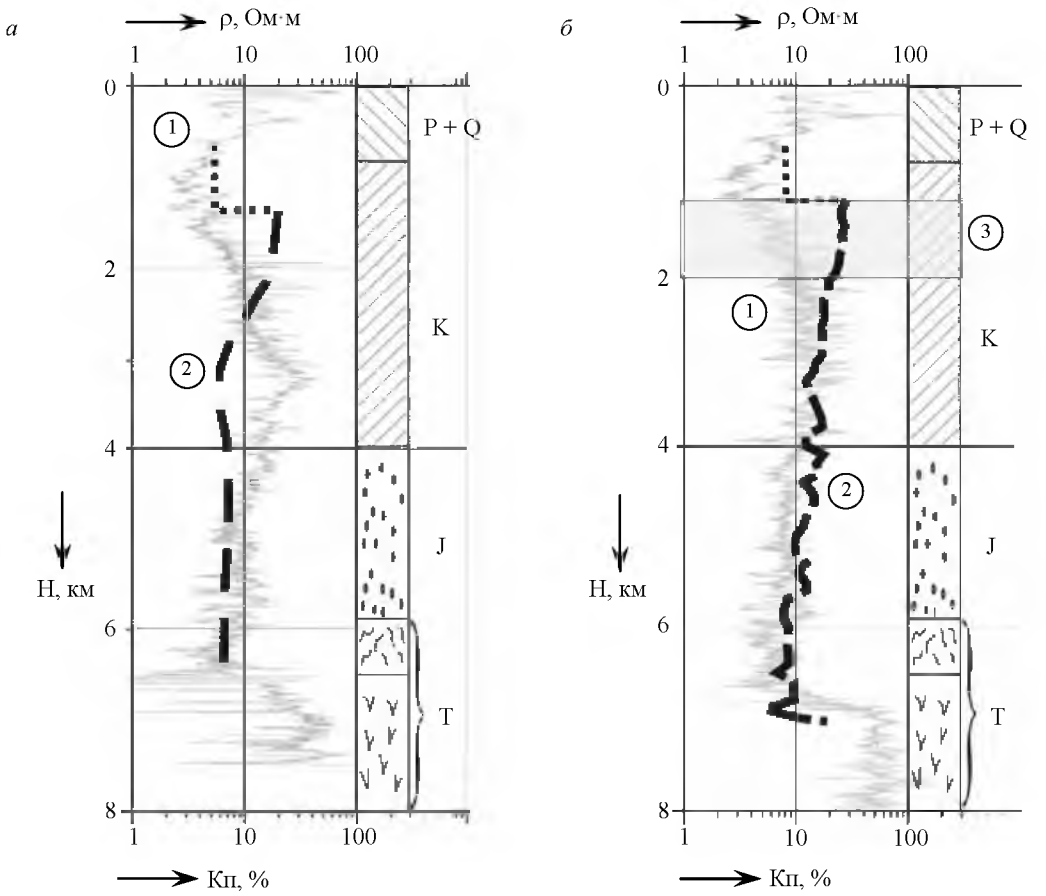


Рис.6. Сопоставление результатов глубинного электромагнитного зондирования в поле промышленной ЛЭП «Уренгой – Пангоды» и АМТ-МТЗ с геологическим разрезом и с каротажем скважин СГ-6 (*а*) и СГ-7 (*б*)

Цифры в кружках: 1 – электрический каротаж сопротивления; 2 – кривая проницаемости, тонким пунктиром над кривой 2 показана нижняя граница региональной покрышки (флюидоупора), сложенного слабо проницаемыми для флюидов глинами палеоген-верхнемелового возраста; 3 – прямоугольником отмечена область градиентного роста сопротивления с глубиной по данным электромагнитного зондирования, совпадающая с областью высокой пористости (до 25 %).

P + Q – палеоген-четвертичные отложения; K – карбон; J – юра; T – триас

В диапазоне глубин от 1,2 до 2,2 км по данным каротажа (рис.6) установлен интервал осадочных пород с повышенными коллекторскими свойствами и высокой пористостью (до 25 %). Сравнивая его с результатами интерпретации электромагнитного зондирования на рис.5, *б*, можно заметить, что интервалу соответствует область градиентного увеличения электрического сопротивления от 3 Ом·м на глубине 1,2 км до 15 Ом·м на глубине 2,2 км (рис.5, *б*).

Установленный в ходе эксперимента факт позволяет сделать вывод о перспективности использования глубинной электроразведки для изучения строения осадочного чехла и для возможного прогнозирования положения горизонтов с повышенными коллекторскими свойствами. Информативный диапазон периодов колебаний первичного поля, необходимый для решения этой задачи (для выделения толщи 3 на рис.6), находится в пределах 10-200 с на самом пределе возможностей зондирования с портативным генератором «Энергия-3» по причине падения интенсивности полезного сигнала. В случае применения в 100 раз более мощного генератора «Энергия-2» эта проблема, по-видимому, может быть решена более надежно, даже без привлечения АМТ-МТ-зондирований. Это является задачей следующего этапа исследований.

Выводы

1. Разработаны основные элементы методики глубинных электромагнитных зондирований в поле естественных и мощных контролируемых источников поля (промышленных ЛЭП) для задачи поисков полезных ископаемых в условиях Ямало-Ненецкого автономного округа. Основу стратегии составляет методика площадных электромагнитных зондирований с использованием источников средней (2 кВт) и большой (до 200 кВт) мощности. При несомненном преимуществе использования источников большой мощности за источниками средней мощности остается то преимущество, что их легко доставить к месту работ любым транспортом (включая воздушный транспорт), они позволяют более оперативно подключаться к ЛЭП и оказывают меньшее влияние на подземные и наземные линии связи и коммуникации. В качестве излучающих антенн используются промышленные ЛЭП или же антенна сверхнизкочастотного излучения «Зевс». Синхронно выполняются аудиомагнитотеллурические и магнитотеллурические зондирования (АМТ-МТЗ) в поле естественных источников.

2. Разработана методика решения обратной задачи электромагнитных зондирований с промышленными ЛЭП и с антенной «Зевс» в комплексе с АМТ-МТЗ. Методика базируется на итерационной процедуре, в которой за опору приняты результаты зондирований с контролируемыми источниками в высокочастотном диапазоне (200-0,25 Гц), результаты глобальных МВЗ в диапазоне суточных вариаций и результаты измерений фазы импеданса в среднем диапазоне периодов по данным МТ-АМТ-зондирований.

3. Выполнена калибровка результатов интерпретации глубинных электромагнитных зондирований путем сопоставления их с данными сверхглубокого бурения на примере Ен-Яхинской скважины СГ-7. Над устьем СГ-7 выполнены зондирования с двумя типами контролируемых источников поля и АМТ-МТ-зондирования. Установлены три промежуточные области пониженного сопротивления на глубинах 200 м, 1 км и в интервале 5-7 км, согласующиеся с результатами электрического каротажа. Глубже 7 км по резкому увеличению сопротивления фиксируется кровля траппов, подстилающих осадочный чехол.

Работа выполнена на средства грантов РФФИ 11-05-12033-офи-м-2011 и 13-05-12044-офи-м-2013 при поддержке губернатора ЯНАО Д.Н.Кобылкина, сотрудников Администрации ЯНАО И.В.Петровой и А.Л.Титовского, а также руководства МЭС Западной Сибири и Ямало-Ненецкого ПМЭС, предоставивших ВЛ-220 «Уренгой – Пангоды» в качестве антенны для проведения эксперимента по глубинному электромагнитному зондированию земной коры в нефтеперспективных районах Западной Сибири.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бердичевский М.Н.* Электрическая разведка методом магнитотеллурического профилирования. М.: Недра, 1968. 255 с.

2. Возможности и перспективы применения несейсмических методов для поисков скоплений углеводородов и геосолитонная концепция их образования / В.М.Мегеря, В.Г.Филатов, В.И.Старостенко, И.Н.Корчагин, А.М.Лобанов, Ю.В.Гласко, М.Ю.Волоцков, С.А.Чкачков // Геофизический журнал. Киев: Наукова Думка, 2012. Т.34. № 3.С.4-21.

3. Высоковольтный силовой инвертор генератора «Энергия-2» для электромагнитных зондирований и мониторинга очаговых зон землетрясений / М.Б.Баранник, А.Н.Данилин, Б.В.Ефимов, В.В.Колобов, П.И.Прокопчук, В.Н.Селиванов, А.Н.Шевцов, Ю.А.Копытенко, А.А.Жамалетдинов // Сейсмические приборы. 2009. Т.45, № 2. С.5-23.

4. *Жамалетдинов А.А.* Теория и методика глубинных электромагнитных зондирований с мощными контролируемыми источниками (опыт критического анализа). СПб: СОЛО, 2012. 163 с.

5. *Жданов М.С.* Сто лет электромагнитной геофизики: заметки о прошлом и дорога в будущее // Материалы 5-й Всероссийской школы ЭМЗ-2011, Санкт-Петербург, Петродворец. СПб: Изд-во СПбГУ, 2011. Кн.1. С.52-85.

6. *Ингеров О.И.* Современные тенденции в развитии аппаратурного комплекса для электроразведочных работ на суше и на море // Материалы 5-й Всероссийской школы ЭМЗ-2011, Санкт-Петербург, Петродворец. СПб: Изд-во СПбГУ, 2011. Кн.1. С.86-103.

7. Многофункциональная цифровая измерительная станция КВВН-7 для электромагнитного мониторинга сейсмоактивных зон / В.В.Колобов, Д.Н.Куклин, А.Н.Шевцов, А.А.Жамалетдинов // Сейсмические приборы. 2011. Т.47, № 2. С.47-61.

8. Опыт частотного электромагнитного зондирования земной коры с применением мощной антенны СНЧ-диапазона / Е.П.Велихов, А.А.Жамалетдинов, Л.А.Собчаков, А.В.Вешев, А.К.Сараев, А.Д.Токарев, А.Н.Шевцов, А.В.Васильев, А.Г.Сонников, А.В.Яковлев // ДАН. 1994. Т.338, № 1. С.106-109.

9. *Семенов В.Ю.* Электропроводность мантии по данным российских геомагнитных обсерваторий / В.Ю.Семенов, Е.П.Харин // Физика Земли. 1997. № 9. С.31-37.

10. Электромагнитное зондирование земной коры в районе сверхглубоких скважин СГ-6 и СГ-7 в полях естественных и мощных контролируемых источников / А.А.Жамалетдинов, М.С.Петрищев, А.Н.Шевцов, В.В.Колобов, В.Н.Селиванов, О.А.Есипко, Е.А.Копытенко, В.Ф.Григорьев // ДАН. 2012. Т.445, № 2. С.205-209.

11. 3D modeling and analysis of the Dst EM Responses in the North Pacific Ocean region / A.Kuvshinov, H.Utada, D.Avdeev, T.Koyama // Geophys. J. Int. 2005. № 160. P.505-526.

12. *Boerner D.E.* Controlled source electromagnetic deep sounding: theory, results and correlation with natural source results. Invited Rewiew Paper for the 10th Workshop on EM Induction. Ensenada: Mexico. 1991. P.3-50.

13. *Constable S.C.* Occam's inversion; a practical algorithm for the inversion of electromagnetic data / S.C.Constable, R.L.Parker, C.G.Constable // Geophysics. 1987. 52. P.289-300.

14. New portable multifunctional broadband MT System / Ye.A.Kopytenko, N.A.Palshin, S.V.Poljakov, A.V.Schennikov, B.I.Reznikov, B.V.Samsonov // IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth 20th Workshop Abstract, Giza, Egypt , September 18-24, 2010.

15. *Vozar J.* Compatibility of induction methods for mantle soundings / J.Vozar, V.Y.Semenov // Journal of geophysical research. 2010. Vol.15. B03101.

REFERENCES

1. *Berdichevsky M.N.* Jelektricheskaja razvedka metodom magnitotelluricheskogo profilirovanija (*Electrical prospecting method of magnetotelluric profiling*). Moscow: Nedra, 1968, 255 p.

2. *Megerja V.M., Filatov V.G., Starostenko V.I., Korchagin I.N., Lobanov A.M., Glasko Yu.V, Wolotzkov M.Yu., Chkachkov S.A.* Vozmozhnosti i perspektivy primenenija nesejsmicheskih metodov dlja poiskov skoplenij uglevodorodov i geosolitonnaja koncepcija ih obrazovanija (*The possibilities and perspectives of non-seismic methods for hydrocarbon accumulation and a geosoliton concept of their formation*). Geofizicheskij zhurnal. Kiev: Naukova Dumka, 2012. Vol.34, N 3, p.4-21.

3. *Barannik M.B., A.N.Danilin, B.V Efimov, V V Kolobov, P.I.Prokopčuk, V N.Selivanov, A.N.Shevtsov, Ye.A.Kopytenko, A.A.Zhamaletdinov*. Vysokovol'tnyj silovoj invertor generatora «Jenergija-2» dlja jelektromagnitnyh zondirovanij i monitoringa ochagovyh zon zemletrjasenij (*High-voltage power inverter of «Energy-2» generator for electromagnetic sounding and monitoring of earthquake source zones*). Sejsmicheskie pribory. 2009. Vol.45, N 2. p.5-23.

4. *Zhamaletdinov A.A.* Teorija i metodika glubinnyh jelektromagnitnyh zondirovanij s moshhnymi kontroliruemymi istochnikami (opyt kriticheskogo analiza) (*A Theory and methods of deep electromagnetic soundings with powerful controlled sources* (*a case study*)). St Petersburg: Solo, 2012, p.163. ISBN 978-5-98340-272-0 (book).

5. *Zhdanov M.S.* Sto let jelektromagnitnoj geofiziki: zametki o proshlom i doroga v budushhee (*One Hundred Years of electromagnetic geophysics: The past and the future*) St Petersburg, Petrodvorec. St Petersburg: Izd-vo SPbGU, 2011. Book 1, p.52-85.

6. *Ingerov O.I.* Sovremennye tendencii v razvitii apparaturnogo kompleksa dlja jelektrorazvedochnyh rabot na sushe i na more (*Current trends in development of hardware complexes for electrical exploration on land and at sea*). Materialy 5-j Vserossijskoj shkoly JeMZ-2011, St Petersburg, Petrodvorec. St Petersburg, Izd-vo SPbGU. 2011. Book 1, p.86-103.

7. *Kolobov V V., Kuklin D.N., Shevtsov A.N., Zhamaletdinov A.A.* Mnogofunkcional'naja cifrovaja izmeritel'naja stancija KVVN-7 dlja jelektromagnitnogo monitoringa sejsmoaktivnyh zon (*A Multifunctional digital measuring station KVVN-7 for electromagnetic monitoring of seismically active areas*). Sejsmicheskie pribory. 2011. Vol.47, N 2, p.47-61.

8. *Velikhov E.P., Zhamaletdinov A.A., Sobchak L.A., Veshev A.V., Saraev A.K., Tokarev A.D., Shevtsov A.N., Vasiliev A.V., Sonnikov A.G., Yakovlev A.V.* Opyt chastotnogo jelektromagnitnogo zondirovanija zemnoj kory s primeneniem moshhnoj antenny SNCh-diapazona (*A Case of frequency electromagnetic sounding of the Earth's crust using a powerful ELF-antenna*). DAN. 1994. Vol.338, N 1, p.106-109.

9. *Semenov V Yu., Harin E.P.* Jelektroprovodnost' mantii po dannym rossijskih geomagnitnyh observatorij (*Electrical conductivity of the mantle according to Russian geomagnetic observatories*). Fizika Zemli. 1997. N 9, p.31-37.

10. *Zhamaletdinov A.A., Petrishchev M.S., Shevtsov A.N., Kolobov V.V., Selivanov V N., Esipko O.A., Kopytenko Ye.A., Grigoriev V.F.* Jelektromagnitnoe zondirovanie zemnoj kory v rajone sverhglubokih skvazhin SG-6 i SG-7 v poljah estestvennyh i moshhnyh kontroliruemyh istochnikov (*Electromagnetic sounding of the earth's crust in the area of ultra-deep wells SH-6 and SH-7 in the fields of natural and powerful controlled sources*). DAN. 2012. Vol.445. N 2, p.205-209.

11. *Kuvshinov A., Utada H., Avdeev D., Koyama T.* 3D modeling and analysis of the Dst EM Responses in the North Pacific Ocean region (*3D modeling and analysis of the Dst EM Responses in the North Pacific Ocean region*). Geophys. J. Int. 2005. N 160, p.505-526.

12. *Boerner D.E.* Controlled source electromagnetic deep sounding: theory, results and correlation with natural source results. Invited Review Paper for the 10th Workshop on EM Induction. Ensenada: Mexico. 1991, p.3-50.

13. *Constable S.C., Parker R.L., Constable C.G.* Occam's inversion; a practical algorithm for the inversion of electromagnetic data. Geophysics, 1987. 52, p.289-300.

14. *Kopytenko Ye.A., Palshin N.A., Poljakov S.V., Schennikov A.V., Reznikov B.I., Samsonov B.V.* New portable multifunctional broadband MT System. IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth 20th Workshop Abstract, Giza, Egypt, September 18-24, 2010.

15. *Vozar J. & Semenov V Yu.* Compatibility of induction methods for mantle soundings. Journal of geophysical research. 2010. Vol.15. B03101.

PILOT ELECTROMAGNETIC SOUNDINGS WITH THE USE OF INDUSTRIAL POWER TRANSMISSION LINE «URENGOY – PANGODY» ALONG WITH AMT-MT-SOUNDINGS

A.A.ZHAMALETDINOV, *Dr. of Geological and Mineral Sciences, Chief Research Scientist,*
abd.zham@mail.ru
St Petersburg branch of IZMIRAN, Russia
A.N.SHEVTSOV, *PhD in Physics and Mathematics, Senior Research Scientist,*
anshev2009-01@rambler.ru
Geological Institute, RAS, Apatity, Russia
V.V.KOLOBOV, *PhD in Engineering Sciences, Leading Research Scientist,*
kolobov@adm.kolasc.net.ru
Institute of Physical and Technical Problems Energy North KSC RAS, Apatity, Russia
M.S.PETRISHCHEV, *PhD in Engineering Sciences, Head of Division, ms_petr@mail.ru*
St Petersburg branch of IZMIRAN, Russia

In 2011 and 2012 in-situ electromagnetic soundings using the industrial power transmission line «Urengoy-Pangody» were taken in the Yamal-Nenets Autonomous District (YaNAD). They were conducted both in the field of the extra-low frequencies (ELF) antenna «Zeus» located on the Kola Peninsula and in the fields of the natural sources (AMT-MT). Conductive layers were installed at depths of a few hundred meters and more than 1 km. These layers were linked with changes in lithology, porosity and fluid saturation of rocks. The research results showed perspectivity of complex electromagnetic sounding with natural and powerful controlled sources to find gas and oil promising horizons at a depth in the sedimentary cover of the West Siberian platform in the YaNAD.

***Key words*:** electromagnetic sounding, controlled and natural sources, industrial power lines.