

**В.П.Колесников, С.М.Костарев**

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ НЕФТЕПРМЫСЛОВОЙ ГЕОЭКОЛОГИИ**

Среди методов геофизики особое место занимают методы электрометрии. Эти методы весьма недороги, достаточно производительны и обладают широким арсеналом средств исследования геологической среды. Проникая вглубь земных недр электрические и электромагнитные поля (естественные, либо искусственно создаваемые) несут большой объем информации о строении и физическом состоянии слагающих разрез пород. Эффективность их применения при экологических исследованиях определяется как совершенством методов истолкования наблюдаемых полей, так решением ряда специфических задач, в частности, задач определения вещественного состава и степени загрязнения пород.

В данной публикации рассмотрены некоторые результаты исследований по созданию методического и интерпретационного обеспечения для ведения площадных электроразведочных работ и опыт их применения при решении экологических задач, связанных с разработкой и эксплуатацией нефтяных месторождений в условиях Пермского Предуралья.

Комплекс проведенных исследований включал опытно-методические наблюдения по изучению возможности применения ряда гальванических и индукционных методов электрометрии, разработку и создание компьютерных средств интерпретации результатов площадных наблюдений, численные и экспериментальные оценки возможного влияния техногенных объектов, оказывающих влияние на результаты измерений, а также проведение экспериментальных работ с использованием разработанных технологий.

Основной задачей опытно-методических работ являлся выбор оптимального базового метода и методик наблюдений, обеспечивающих необходимую информативность, глубинность и экономическую эффективность работ. Комплекс анализируемых методов включал метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), метод становления поля в ближней зоне (ЗСБ) и метод, основанный на использовании техногенных электромагнитных полей (МТЭП).

На двух участках в районе Осинского нефтяного месторождения были проведены полевые наблюдения отмеченными выше методами. Метод ВЭЗ выполнялся с помощью стандартной аппаратурой АНЧ-3 при максимальных разносах питающей линии АВ-200 м, с использованием многоканальной питающей линии АВ, смонтированной в виде косы. Переключение питающих электродов осуществлялось с помощью специального коммутатора. Для контроля и визуализации измеряемых графиков зондирования была

использована специально созданная программа "ВЭЗ-ПОЛЕ", позволяющая с помощью Notebook непосредственно в поле визуализировать измеряемые величины, осуществлять расчет кажущихся сопротивлений и на количественном уровне оценивать глубинность исследования при заданном диапазоне разносов питающей линии.

Для измерения процесса становления поля применялась портативная аппаратура TEM-FAST48, оснащена системой автоградуировки и тестирования [1]. Работы проводились установкой "петля в петле". При выборе оптимальных параметров установки и регистрации сигнала измерения были выполнены при трех размерах одновитковой петли 50x50 мхм, 25x25 мхм и 12.5x12.5 мхм максимальное время регистрации бралось равным 512, 1024 и 2048 мкс.

Для выполнения опытных работ методом ТЭМП был использован комплекс цифровой аппаратуры СЭР-1, разработанный во ВНИМИ (г.С-Петербург). С помощью данной аппаратуры регистрировались спектры трех ортогональных компонент электрической и магнитной составляющих электромагнитного поля в диапазоне от первых единиц до 80 кГц. В результате анализа полученного материала были выбраны частоты 2.44, 50, 150, 625 Гц, обладающие достаточной амплитудой сигнала и соответствующие необходимому диапазону глубин исследования. В качестве интерпретационных при обработке материалов МТЕП использован ряд относительных параметров [4], представляющих отношение вертикальной и радиальной компонент напряженности магнитного ( $H_{отн} = H_z/H_r$ ) и электрического ( $E_{отн} = E_z/E_r$ ) полей, значения импеданса  $Z = E_x/H_y$ , характеризующего эффективное сопротивление среды.

Сравнительный анализ полученных разными методами материалов, в частности, отображенных на рис.1, показал, что в целом они достаточно хорошо согласуются между собой. Вместе с тем установлено, что информационные возможности кривых зондирования становлением поля в данных геоэлектрических условиях ограничены как влиянием собственных индуктивных процессов в петле, затрудняющих возможность изучения электрических свойств приповерхностной части разреза до глубин порядка 1/10 стороны измерительной петли и заметным уменьшением соотношения сигнал/помеха, проявляющемся начиная с времени регистрации 1024 мкс. Практическая применимость метода МТЕП пока ограничена ввиду недостаточно разработанного теоретического и методического его обеспечения. Учитывая высокую производительность данного метода, он может быть использован в качестве экспресс-метода для предварительной оценки физического состояния среды. По производительности работ методы ЗСБ и ВЭЗ (при работе с "косой") оказались близки между собой.

По результатам опытных работ в качестве базового для проведения площадных экологических наблюдений выбран метод ВЭЗ, который в данных геоэлектрических условиях дает возможность получения информации о физическом состоянии геологической среды во всем интервале исследуемых

глубин и обладает на данный момент наиболее разработанным и апробированным теоретическим, методическим и программным обеспечением.

Вместе с тем, учитывая возможность бесконтактного измерения компонент электромагнитного поля индуктивными методами в условиях неблагоприятных для использования гальванических способов измерений (наличие снежного покрова, мерзлого слоя пород, асфальтового покрытия и т.п.) применение их расширяет возможности электротометрии при решении различных, в том числе и экологических, задач.

Для обработки и интерпретации результатов площадных электроразведочных наблюдений использована система 'Зонд', разработанная в Горном институте УрО РАН. [2,5]. Система позволяет выполнять следующие графы обработки и интерпретации: 1) визуализацию и корректировку исходных данных; 2) первичную обработку наблюдений; 3) качественную интерпретацию; 4) количественную интерпретацию; 5) расчет геоэлектрических параметров для заданной части геоэлектрического разреза; 7) пересчет электрических параметров в другие физические характеристики среды (минерализацию водных растворов, скоростные характеристики среды и т.п.) на основе использования корреляционных связей.

Каждый из этапов автоматизирован и содержит блок визуализации, предназначенный для организации интерактивного режима работы и графической выдачи результатов.

Система позволяет осуществлять одновременную интерпретацию до 700 зондирований и предусматривает возможность как автоматического, так и интерактивного режимов интерпретации.

Интерактивный режим обеспечивает возможность контроля и корректировки результатов работы отдельных ее блоков с целью выбора оптимального варианта построения исследуемой модели среды.

Качественная интерпретация представляет собой вычисление и визуализацию эффективных параметров как в плане (карты), так и по вертикали (разрезы). По предлагаемому "меню" может быть выполнен расчет следующих эффективных параметров: кажущихся сопротивлений, кажущихся проводимостей, кажущейся анизотропии, дифференциальных значений кажущегося сопротивления и кажущейся проводимости, мощности эффективного слоя, нормированных производных. Блок качественной интерпретации позволяет выполняться расчет и визуализацию эффективных параметров для различных методов электротометрии.

Устойчивость и надежность решения обратной задачи обеспечиваются как за счет различных приемов адаптационной регуляризации, так и использования интегрального принципа интерпретации, согласно которому поиск решения в данной точке наблюдений ведется с учетом информации по всей совокупности зондирований по площади или по профилю, опираясь на его регулярную часть.

Геологическое истолкование физических решений рассматривается как

задача выбора геологической гипотезы строения среды в рамках возможных физических решений адекватных информативности метода исследования.

Технологически построение физико-геологической модели представляет итерационный процесс, выполняемый при участии интерпретатора. Работа интерпретатора сводится к заданию управляющих параметров, представляющих ограничения на пространственное изменение физических параметров, а также к выбору наиболее оптимального варианта конструируемой модели среды. Аномальные эффекты, не укладывающиеся в рамки квазигоризонтально-слоистой модели среды и отображаемые в виде поля остаточных аномалий, классифицируются как локальные неоднородности, либо помехи по совокупности признаков (величине коэффициентов прослеживаемости границ, пространственной согласованности решений и др.).

Расчет геоэлектрических параметров для заданной части разреза имеет целью изучения геоэлектрических характеристик среды на заданных интервалах глубин. Результаты вычислений используются в качестве исходных данных для пересчета их в другие физические характеристики среды - минерализацию, скорости, плотности и др., на основе корреляционных соотношений, определенных при анализе параметрического материала.

Результаты интерпретации представляются в виде разрезов, карт и объемных отображений получаемых характеристик среды.

Важное значение при проведении экологических исследований с применением электрометрии в условиях урбанизированных территорий является учет влияния на результаты наблюдений различных техногенных объектов – трубопроводов, скважин, количество которых на нефтегазовых месторождениях может достигать нескольких сотен. Для решения подобного рода задач разработан аналитический способ вычисления электрического поля точечного источника в полупространстве с линейным цилиндрическим включением [3].

Решение находится из уравнения Лапласа

$$\Delta u = 0, \quad u = \begin{cases} u_1, & r \leq a \\ u_2, & r > a \end{cases}, \quad (1)$$

при граничных условиях на поверхности цилиндра:

$$\begin{aligned} u_1 &= u_2, \\ \frac{1}{\rho_2} \frac{\partial u_1}{\partial r} &= \frac{1}{\rho_1} \frac{\partial u_2}{\partial r}. \end{aligned} \quad (2)$$

где  $a$  - радиус скважины,  $\rho_1$  – сопротивление вмещающей среды,  $\rho_2$  – сопротивление скважины.

Решение (1)-(2) в терминах Фурье-преобразования приводится к следующим выражениям:

$$u_1 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{R} + \frac{2}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} e_m \cos m\varphi \int_0^{\infty} B_m(\lambda) \cdot I_m(\lambda r) \cdot \cos(\lambda z) d\lambda \right\},$$

$$u_2 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left\{ \frac{1}{R} + \frac{2}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} e_m \cos m\varphi \int_0^{\infty} A_m(\lambda) \cdot K_m(\lambda r) \cdot \cos(\lambda z) d\lambda \right\}, \quad (3)$$

где  $R=(r^2 + r_0^2 - 2rr_0\cos\varphi + z^2)^{1/2}$ ;  $\varphi$  - угол между радиус-векторами до источника  $r_0$  и приемного электрода  $r$ ;  $I_m(x)$ ,  $K_m(x)$  – модифицированные функции Бесселя  $m$ -порядка,  $e_m$  – множитель, имеющий значение  $e_0=1$  при  $m=0$  и  $e_m=2$  для всех остальных членов ряда;  $B_m(\lambda)$ ,  $A_m(\lambda)$  – неизвестные функции от параметра суммирования  $\lambda$ , находящиеся из граничных условий (2).

Первичный потенциал согласно интегралу Вебера и теореме сложения функций Бесселя представляется в виде следующего разложения:

$$U = \frac{I\rho_1}{2\pi R} = \frac{I\rho_1}{\pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} e_m \int_0^{\infty} \left\{ \begin{array}{l} I_m(\lambda r) K_m(\lambda r_0) \cos m\varphi \cos \lambda z d\lambda, \quad (r < r_0) \\ K_m(\lambda r) I_m(\lambda r_0) \cos m\varphi \cos \lambda z d\lambda, \quad (r > r_0) \end{array} \right\}. \quad (4)$$

В отличие от известных подходов к решению данной задач, основанных на использовании асимптотических приближений [7], данный способ позволяет рассчитывать электрическое поле для вполне определенных значений диаметра линейного объекта и относительного его сопротивления.

С помощью разработанного аналитического способа была выполнена количественная оценка влияния трубопровода и обсаженной металлической трубой скважины на результаты электрического зондирования. Отдельные из результатов расчета и экспериментальных оценок приведены на рис. \*\*\*

Основные выводы, полученные по результатам моделирования и экспериментальных работ над трубопроводами, сводятся к следующему: а) anomальное проявление линейного проводящего объекта на разрезе кажущихся сопротивлений отображается в виде узко локализованной anomальной зоны пониженных значений кажущегося сопротивления, имеющей "сквозной" (пронизывающий весь разрез от начальных до конечных разносов питающей линии) характер; б) ширина anomальной зоны несколько увеличивается с глубиной от первых метров (при разносах  $AB/2$  до 10 м) до первых десятков метров (при разносах  $AB/2$  до 100 м), величина anomалии при этом уменьшается от 45 %, в центре anomальной зоны, до 7 % на ее окраине; в) величина anomалии существенным образом зависит от состояния антикоррозийного покрытия трубопровода, являющегося по своему составу и свойствам изолятором для электрического тока. При хорошем состоянии антикоррозийного покрытия проявление трубопровода становится слабозаметным в наблюдаемом поле. г) при выборе методик наблюдения для осуществления контроля за влиянием техногенных помех линейного типа (трубопроводы, кабели и др.) наиболее рациональным является расположение измерительных установок вкост линейного объекта.

Результаты расчетов для случая скважины показали, что при удалении профиля наблюдений от скважины на расстояние более десяти метров максимальное отклонение кажущихся сопротивлений от фоновых значений не превышает 5 %.

Наличие техногенных аномалий приводит к необходимости учета ряда эффектов, в частности, Р-эффекта, обусловленного расположением неоднородности вблизи приемной линии, и С-эффекта - при ее расположении вблизи питающей линии [2,6]. В первом случае наблюдается квазиконформное искажение кривых ВЭЗ, т.е. кривые зондирования смещаются по оси сопротивлений почти не меняя своей формы, во втором - неконформное.

Для подавления влияния Р-эффекта использована нормализация кривых зондирования. Снижение влияния С-эффекта, трудно поддающегося контролю при рассмотрении одиночных зондирований, осуществлялось в процессе согласованной количественной интерпретации совокупности зондирований.

Описанные выше теоретические, методические и программные разработки, направленные на повышение эффективности методов электрометрии, прошли апробацию при выполнении экологических исследований на ряде нефтяных месторождений Пермской области (Осинском, Краснокамском, Куедино-Красноярском).

\*\*\*Один из примеров \*\*\*рассматривает возможности электрометрии при выявлении участков опасных по газовым явлениям. Подобная задача была поставлена в связи с аварийной ситуацией, возникшей на территории центральной площадки УППН-4. (Куедино-Красноярское нефтяное месторождение), где произошел взрыв газа.

Полевые наблюдения выполнены методом ВЭЗ по сети 20x30 м при максимальных разносах питающей линии  $AB/2=100$  м.

Осложняющим фактором проведения электроразведочных работ в данных условиях явилось наличие большого числа технических сооружений (трубопроводов, скважин и др.), способных оказывать влияние на результаты наблюдений. Поэтому при выборе методики наблюдений и интерпретации материалов привлекались результаты численного моделирования, рассмотренного выше. Интерпретация включала проведение как качественной, так и количественной интерпретации. Был выполнен полный граф обработки и интерпретации

На этапе качественной интерпретации решались главным образом вопросы изучения общего характера пространственного изменения электрических свойств среды. Для этой цели были получены разрезы, карты и трехмерные представления эффективных параметров (кажущихся сопротивлений, проводимостей и др.). Полученные материалы позволили выделить ряд аномальных зон повышенных и пониженных значений кажущегося сопротивления и проследить их пространственное поведение.

На этапе количественной интерпретации, отдельные из фрагментов которой показаны на рис. 4, по результатам полевых наблюдений проведено послойное расчленение геоэлектрического разреза, определены мощности и удельные электрические сопротивления слоев, выполнена геологическая привязка границ на основе анализа параметрических зондирований, построены

разрезы и карты по выделенным горизонтам.

Анализ полученных материалов выявил ряд особенностей геологического строения и пространственного изменения электрических свойств пород. Установлено, что мощность глинистых отложений в пределах участка закономерно меняется от 6 до 12 м. Одна из наиболее протяженных зон относительно пониженных значений мощности пересекает исследуемый участок в северо-восточном направлении, постепенно расширяясь от 30-50 м на юго-западе до 150-200 м на северо-востоке. Карта удельных электрических сопротивлений для интервала глубин залегания подстилающего слоя, соответствующего необводненной алевролито-песчаниковой пачки пород, отмечает наличие зон аномально повышенных значений данного параметра. Природа аномалий может быть связана с наличием газа, обладающего высоким сопротивлением. Наиболее значительная зона повышенных значений электрического сопротивления прослеживается вдоль южной окраины УППН-4 с "залывом" на территорию участка в районе центральной его части и совпадает в плане с участком относительного понижения мощности покровных глин.

Для оценки совместного влияния обоих факторов, определяющих опасность данной территории по газовым явлениям – мощности покровных глин и сопротивления подстилающих их алевролито-песчаниковых отложений, являющихся возможным коллектором газа, использована следующая формула:

$$G_i = [(\rho_i - 0.9\rho_{\min})(h_{\max} - h_{\min})] / [(\rho_{\max} - \rho_{\min})(h_i - 0.9h_{\min})],$$

где  $h_i$ ,  $h_{\min}$ ,  $h_{\max}$  - соответственно текущее, минимальное и максимальное значения мощности по данным интерпретации;  $\rho_i$ ,  $\rho_{\min}$ ,  $\rho_{\max}$  - аналогичные значения сопротивления алевролито-песчаниковой толщи;  $i=1, L$ ;  $L$  - число зондирований.

Карта значений параметра  $G_i$  позволила локализовать аномальную область, соответствующую наибольшей опасности по газовым явлениям, которая совпадала в плане с участком произошедшего события.

Учитывая сложные техногенные условия производства работ, для оценки и снижения возможного влияния техногенных помех на результаты зондирования использован комплекс методов, включающий выбор оптимальных условий наблюдения и специальные приемы интерпретации, основанные на разделении нормальной и аномальной (не укладывающейся в рамки квазигоризонтально-слоистой модели среды) составляющих наблюдаемого поля. Оценка техногенного влияния, выполненная для разных глубин исследования, показала, что интенсивность его увеличивается с глубиной. При этом для большей части территории в интересующем интервале глубин (от поверхности до 15-18 м) она находится в допустимых пределах. Карты интенсивности техногенного влияния учитывались при определении природы выделенных геофизических аномалий и оценке достоверности результатов интерпретации.

Другой пример решения экологических задач с использованием

элетрометрии связан с изучением водно-физических свойств пород зоны активного водообмена с целью выявления и оконтуривания аномальных участков, связанных с хлоридным загрязнением подземных вод и оценки их минерализации.

Исследуемая территория находится в Осинском районе Пермской области в пределах центральной части Осинского нефтяного месторождения. Площадь ее составляет 69 км<sup>2</sup>.

Геологический разрез в исследуемом интервале глубин, составленный по данным бурения имеющихся на участке гидрогеологических скважин представлен породами пермского и четвертичного возраста.

Состав и мощность четвертичных отложений на исследуемой территории изменяются в достаточно широких пределах.

Верхняя часть четвертичного комплекса до глубины 10-20 м в пределах пойменной ее части представлена в основном глинами и суглинками с прослоями песчаника, нижняя - до глубины 30-40 м - сложена песками и гравийно-галечниковой смесью. По мере продвижения в южном направлении гравийно-галечниковые отложения выклиниваются из разреза.

Нижезалегающие верхнепермские отложения представлены аргиллитом с прослоями песчаников, глин и известняка.

Четвертичные гравийно-галечниковые и верхнепермские аргиллитопесчанниковые отложения водоносны. Флюидоупором служат прослой глины верхнепермских шешминских отложений.

Геоморфологические условия северной - пойменной части территории сравнительно просты: перепад высотных отметок рельефа местности составляет около 20 м при сравнительно монотонном их понижении в северном направлении. Перепад высотных отметок рельефа южной части территории достигает 50 м.

В пределах исследуемой территории насчитывается более \*\*800 скважин различного назначения (добывающих, нагнетательных и др.).

Данные работы выполнены в рамках программы по радиационной безопасности Осинского месторождения на 2000 г., разработанной ООО "ЛУКойл-Пермнефть".

Работы выполнялись в два этапа: на первом из них была проведена региональная электроразведочная съемка методом электрического зондирования с глубиной исследования до 40-50 м с целью районирования территории по степени засоления подземных вод и выявления участков аномально повышенной их минерализации, на втором - детализационные электроразведочные наблюдения на выявленных в результате региональных работ аномальных участках с глубиной исследования до 100 м. \*\*\*\*Для выполнения детализационных работ были использованы методы электрического зондирования и зондирования становлением поля.

С помощью рассмотренной выше системы программ был выполнен

комплекс работ, включающий первичную обработку полевого материала, анализ параметрических зондирований, качественную и количественную интерпретацию. \*\*\* Отдельные фрагменты процесса интерпретации отображены на рисунках 5,6.

В результате компьютерной обработки и интерпретации материалов региональных работ получена геоэлектрическая модель центральной части Осинского месторождения. Визуальный анализ полученной модели с помощью построения горизонтальных и вертикальных сечений поля кажущихся сопротивлений, геоэлектрических разрезов, карт и объемных отображений поля удельных электрических сопротивлений, отображающих до шести геоэлектрических горизонтов, позволил выделить площадную зональность электрических свойств и проследить общий характер пространственного распространения засоления в интервале глубин от поверхности до 50 м. Выполненный анализ параметрических зондирований, расположенных вблизи скважин, показал достаточно уверенное отображение в геоэлектрическом разрезе основных геологических пород.

На основе корреляционной зависимости между электрическими и воднофизическими свойствами пород [5] получены карты минерализации по трем основным горизонтам, отождествленным соответственно с “верховодкой” для глубин 0-15 м, четвертичным аллювиальным водоносным горизонтом, приуроченным к гравийно-галечниковым отложениям на глубине 15-30 м и нижележащим верхнепермским (шешминским) водоносным комплексом, залегающим на глубине более 30 м. В результате анализа полученных карт установлено, что минерализация подземных вод приповерхностной части разреза меняется в пределах площади от долей единицы до 10 г/л. При этом область со значениями минерализации, превышающими фоновый уровень (1 г/л), весьма обширна и охватывает около 70% всей территории. Для водоносного горизонта, залегающего в интервале глубин порядка 15-30 м, область аномально повышенных значений минерализации заметно локализуется. В пределах ее выделяются две основных аномальных зоны с минерализацией от трех до десяти и более грамм на литр. Интенсивность аномального поля для нижезалегающих верхнепермских аргиллитопесчанниковые отложений несколько повышается (на отдельных участках до 20 г/л). Наблюдается унаследованность общей конфигурации отмеченных выше аномальных областей, свидетельствующая об единой природе и источниках соляного загрязнения подземных вод.

С целью определения масштабов засоления вод, выявления связи источников загрязнения с техническими объектами разработки месторождения (скважинами, насосными станциями и т.п.) по результатам региональных работ выделено семь участков для проведения детализационных наблюдений

В результате детализационные электроразведочные работы на выделенных участках был изучен геоэлектрический разрез в интервале глубин от

поверхности до 100 –120 м. Выявлены и оконтурены в плане и по глубине аномальные участки, связанные с хлоридным загрязнением подземных вод, определены области активного водообмена, отмечены объекты (скважины, насосные станции и др.) являющиеся возможными источниками загрязнения.

Детализационные работы выявили ряд закономерностей и особенностей поведения аномального поля. Выявлена закономерная связь областей аномально повышенной минерализации с местами расположения скважин, свидетельствующая о влиянии последних на формирование этих зон. Установлено, что аномальное поле приповерхностной части разреза в пределах рассмотренных участков меняется от 3 до 10 г/л. Отмечено некоторое понижение аномальности с повышением высотных отметок рельефа. С помощью сканирования поля электрических сопротивлений показано, что механизм хлоридного загрязнения приповерхностной части разреза может быть связан с наличием разуплотненных водопроницаемых зон как в районе затрубного скважинного пространства, так и на отдельных участках геологической среды (трещиноватых зонах), обеспечивающих возможность вертикальной миграции рассолов, находящиеся под высоким статическим давлением.

Отмечено, что наряду с характерным понижением электрических сопротивлений вблизи скважин имеется ряд зон резко повышенных сопротивлений приповерхностной части околоскважинного пространства, значительно превышающих фоновый уровень. Показано, что наиболее вероятной причиной резкого повышения сопротивлений может служить нефтяное, либо газовое загрязнение пород, вызванное возможными их утечками при эксплуатации отмеченных объектов.

Установлено, что для обводненных гравийно-галечниковых и аргиллито-песчанниковых пород, залегающих в интервалах глубин соответственно порядка 15-30 м и 30-100 м, аномальность поля повышается, достигая в отдельных случаях значений более 30 г/л. Наиболее высокие значения минерализации приходятся на диапазон глубин залегания аргиллито-песчанниковых отложений, что указывает на наиболее вероятное наличие здесь основных источников хлоридного загрязнения. Выделено около \*\*\*30 скважин попадающих в аномальные зоны. Наиболее отчетливо выделена аномальная зона с минерализацией до 30 г/л, характер поведения которой показал на наличие сравнительно мощного очага засоления подземных вод, расположенного на территории ЦППС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каменский Ф.М., Лыпкин В.М., Новош П.В., Озорович Ю.А. Возможности индукционного зондирования криолитозоны планеты Марс. Препринт, ИКИ, М., 1988 с.\*\*\*
2. Колесников В.П. Обработка и интерпретация результатов вертикального

электрического зондирования на ЭВМ. М., "Недра", 1981.

3. Кутин В.А., Колесников В.П. Численное моделирование электрических полей для трехмерных моделей сред//Проблемы горного недроведения и системологии. Материалы научной сессии Горного института УрО РАН. Пермь, 1999, с.36-38.

4.Титлинов В. С. О возможности использования полей-гармоник 50-периодного тока промышленных ЛЭП в многочастотной электроразведке //Теория и практика электромагнитных методов геофизических исследований. Свердловск, 1992. С. 64-78.

5. Электроразведка. - Справочник геофизика. Т.1-2, "Недра", 1990.

6.Электроразведка методом сопротивлений. Под ред. В.К.Хмелевского, В.А.Шевнина: Учебн. пособие. - М.: Изд-во МГУ, 1994, 160 с.

7.Уэйт Д.Р. Геоэлектромагнетизм. М., "Недра", 1987.

