

## Применение аэроэлектроразведки для решения гидрогеологических задач

В.В. Агеев<sup>1</sup>, Е.В. Каршаков<sup>2</sup>, Е.В. Мойланен<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ЦГЭМИ ИФЗ РАН, ageevvv@yandex.ru

<sup>2</sup>ИПУ РАН, moilanen@mail.ru

---

### АННОТАЦИЯ

В работе описана технология наземных и вертолетных электроразведочных работ, направленных на оценку перспективности территории для разведки на воду. Для сложных геоэкологических условий Якутии показана эффективность метода переходных процессов и частотного метода при выделении зон, рекомендуемых для бурения на воду.

**Ключевые слова:** аэроэлектроразведка, МПП, мерзлота, гидрогеология

---

### ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное строительство протяженных линейных сооружений, ведущееся в последнее время в России, требует организации локальных водозаборов преимущественно для технического водоснабжения, при этом в критических ситуациях (пожары, аварии) источники водоснабжения должны обеспечивать большие расходы при невысоких требованиях к качеству воды. Строительство выполняется в тундре и тайге, где отсутствует транспортная сеть, кроме просек. В этих регионах широко развиты многолетнемерзлые породы с мощностью до 300-350 м. Сроки выполнения работ обычно невелики, составляя несколько рабочих недель.

Учитывая сложные мерзлотно – гидрогеологические условия и часто невысокий уровень изученности, геофизические исследования, направленные на выделение перспективных участков для бурения на воду, являются неотъемлемой частью общего комплекса разведочных работ на воду.

Возможные источники водоснабжения можно разделить на два типа:

1. Приповерхностные талики, приуроченные к непромерзающим участкам ручьев, рек, озер в рыхлых и коренных породах. В этих таликах воды обычно пресная.

2. Подмерзлотные воды, приуроченные к зонам повышенной трещиноватости в коренных терригенно – карбонатных породах. В этих зонах вода преимущественно с высокой минерализацией (10 – 25 г/л и более). Укажем, что наиболее перспективным для бурения на воду представляется метегеро - ичерский комплекс в интервале глубин 150 – 300м, в разрезе которого присутствуют карбонатные породы, из которых фиксировались притоки при бурении скважин на углеводороды.

Как из физических предпосылок, так и из опыта работ в этих условиях очевидно, что наиболее

пригодным методом для выделения участков, перспективных для бурения на воду, является электроразведка в модификации зондирование становлением поля (ЗСБ) – методом переходных процессов (МПП) с магнитным диполем для возбуждения и регистрации электромагнитного поля. Очевидные преимущества этой технологии: высокая чувствительность к проводящим объектам, к которым относятся как приповерхностные, так и подмерзлотные талики, а также возможность возбуждения и регистрации измеряемых параметров без контакта с поверхностью земли, что позволяет выполнять работы как с любыми поверхностями (снег, лед, курумники), так и с воздуха. Дополнительно отметим, что в настоящее время в нашей стране отработаны и широко применяются технологии, обеспечивающие выполнение полного цикла работ (от натуральных наблюдений до получения результатов интерпретации) в сжатые сроки.

Перед нами была поставлена задача выбрать участки для бурения на воду, на площади размером около 300 кв. км.

На начальном этапе мы выполнили наземные работы вдоль наиболее крупной реки и по ее притокам с петлями от 50х50м (на возможные приповерхностные талики) до 200х200м (на подмерзлотные воды до глубины 400м). Переезды между профилями выполнялись по зимникам на транспорте, передвижение по профилям и смотка - размотка производились пешком, по глубокому снегу. При измерениях использовалась аппаратура TEMFAST (Барсуков и др., 2006) – наиболее компактная аппаратура из известных нам образцов, позволяющая выполнять измерения на глубину до нескольких сотен метров при пешем передвижении. Работы проводились в течение 20 дней и были остановлены после наступления оттепели. С середины лета появляется возможность пешего передвижения, при этом перемещение с профиля на профиль возможно только вертолетом. Укажем, что по опыту работ

производительность наземных работ в тайге на больших площадях летом заметно снижается.

Анализ полученных данных позволил определить геоэлектрическое строение разреза и установить следующие особенности мерзлотно – гидрогеологических условий:

- На глубину до 350 – 400м разрез имеет преимущественно четырех - пятислойное строение, при этом геоэлектрические горизонты хорошо увязываются с известными литолого-стратиграфическими элементами разреза, выделенными по результатам буровых работ и ГИС на углеводороды (в основном по данным ГК и КС).

- Положение подошвы мерзлых пород может быть установлено только предположительно. Причины этого – высокое содержание глинистых прослоев и интенсивное засоление как мерзлых, так и нижележащих талых пород.

- Подавляющее большинство приповерхностных таликов по геоэлектрическим параметрам ( $УЭС = 25 - 40 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ) литологически сложены преимущественно глинистыми отложениями и не могут быть рекомендованы для получения значительных объемов воды.

- Зона, представляющаяся перспективной в преимущественно карбонатных породах метегеро – ичерского комплекса была выделена только одна, что явно недостаточно даже для оценки перспективности всей площади при бурении на воду.

Из полученных данных стало очевидным, что необходимо выполнить исследования с охватом всей площади хотя бы по редкой сети профилей. В сложившихся условиях единственным вариантом выполнить эти работы было использование аэроварианта методом переходных процессов, чтобы успеть за оставшееся время провести оценку перспективности участка для поисков и разведки подземных вод.

Измерения с воздуха были выполнены отечественной аппаратурой ЭКВАТОР (Волковицкий, 2010), смонтированной на вертолете и выполняющей измерения электромагнитного поля во временном и частотном диапазоне параллельно с измерением магнитного поля Земли. Основные особенности – измерения выполняются разнесенными петлями, временной диапазон регистрации позволяет изучить в условиях региона разрез на глубину до 350 – 400м, кратность отсчетов в сочетании со скоростью полета позволяет уверенно проследить разрез с надежным выделением в нем субвертикальных неоднородностей. Полеты выполнялись с обтеканием рельефа на высоте 100 м, при этом

навигационное оборудование обеспечивало высокую точность привязки.

Особо отметим, что требуемый объем измерений (9 профилей протяженностью 320 км) был выполнен за два дня.

Обработка данных выполнялась с использованием специального программного обеспечения, на основе алгоритма, приведенного в (Jupp and Vozoff, 1975). По участкам работ составлены разрезы распределения удельного электрического сопротивления и графиков локальной составляющей аномального магнитного поля.

Нами выполнен совместный анализ всех полученных данных, позволивший установить следующее:

- Геоэлектрические разрезы, составленные по данным наземных работ и аэрообработ, хорошо совпадают, что говорит, как об устойчивости принятой геоэлектрической схематизации, так и об удовлетворительном расчленении разреза по удельному электросопротивлению.

- В разрезе выделены пять геоэлектрических горизонтов (рис. 1) со следующей стратиграфической привязкой (описание ведется сверху вниз, номер горизонта соответствует номеру на разрезе, рис. 1):

1. Горизонт с  $УЭС = 100 - 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  объединяющий отложения четвертичного и юрского возраста и, возможно, верхнюю часть верхоленской свиты (условно назовем «верхний» горизонт, Q + J1 + Є2vl).

2. Горизонт с  $УЭС = 15 - 30 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , относящийся к верхоленской свите (Є2vl) преимущественно глинистого состава. Является хорошим маркером при составлении геоэлектрических разрезов.

3. Горизонт с  $УЭС = 120 - 250$ , уверенно отождествляющийся с терригенно - карбонатными породами метегеро – ичерской свиты (Є1-2mt-ič).

4. Горизонт с  $УЭС = 40 - 90 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , отождествляемый с породами чарской свиты (Є1-2čr). Глубина до кровли этого горизонта около 300 – 350м, альтитуда кровли от 0 до 50м. (условно назовем «нижний» горизонт). Этот горизонт является последним для технологии, используемой нами.

- В вышеперечисленных нами геоэлектрических горизонтах какие-либо неоднородности с относительно пониженными значениями удельного электросопротивления ( $УЭС$ ) с высокой вероятностью фиксируются по всему участку. Именно такие зоны обычно рекомендуются для заверки бурением на воду. Наиболее уверенно эти зоны фиксируются в «верхнем» и «нижнем» геоэлектрических горизонтах (см. выше). Анализ пространственной изменчивости значений  $УЭС$

по этим горизонтам позволил выделить следующие граничные значения, ниже которых выделяемая зона обладает «аномально» низкими значениями УЭС для этих горизонтов:

- «Верхний» горизонт 1 ( $Q + J1 + \epsilon 2vI?$ ) – УЭС < 50 Ом·м.

- «Нижний» горизонт 4 ( $\epsilon 1\check{c}r$ ) – УЭС < 40 Ом·м.

Можно выделить два типа таких зон:

- Первый тип – сравнительно небольшие размеры (до первых сотен метров) и как следствие, субвертикальность. Для «верхнего» горизонта такие зоны могут увязываться с таликами, для «нижнего» – с зонами повышенной трещиноватости и возможно, относительно более водообильными.

- Второй тип – размеры от пятисот метров и более и как следствие, субгоризонтальность. Для обоих горизонтов подобные зоны с высокой вероятностью могут увязываться с литологическими неоднородностями, когда уменьшение значений УЭС может объясняться увеличением относительной мощности глинистых (аргиллитистых) слабопроницаемых прослоев. Напомним, что глинистые отложения отличаются низкими значениями УЭС как в талом, так и мерзлом состоянии.

Необходимо указать, что часто в промежуточном горизонте ( $\epsilon 1-2mt-i\check{c}$ ) на участках, совпадающих в пространстве с зонами, описанными выше, фиксируются участки с сильной изменчивостью значений УЭС по профилю, приводящей к высокой погрешности решения обратной задачи (ОЗ). Наиболее вероятной причиной подобной ситуации является сильная горизонтальная неоднородность, что и предопределяет невозможность получения «хорошего» решения ОЗ в рамках горизонтально-слоистой модели (1-D).

Мы полагаем, что наибольший интерес для бурения на воду представляют участки, где субвертикальные зоны с относительно «аномальным» понижением УЭС прослеживаются по вертикали для всех изученных геоэлектрических горизонтов.

На рис. 2 приведена схема сквозных зон с аномальными значениями УЭС по всему разрезу ( $Q + J1 + \epsilon 2vI + \epsilon 1-2mt-i\check{c} + \epsilon 1\check{c}r$ ). Наиболее достоверными представляются зоны,

совпадающие в плане на участках пересечения профилей. В то же время для практики могут представлять интерес участки, расположенные вблизи кустов скважин на углеводороды. Исходя из этих соображений, нами рекомендованы несколько участков для бурения на воду до глубины 400 м с изучением разреза до чарской свиты включительно.

### Выводы

Необходимо понимать, что выделенные нами субвертикальные неоднородности не обязательно соответствуют зонам с высокой водообильностью.

Таким образом, наиболее значимые результаты геофизических исследований сводятся к следующему:

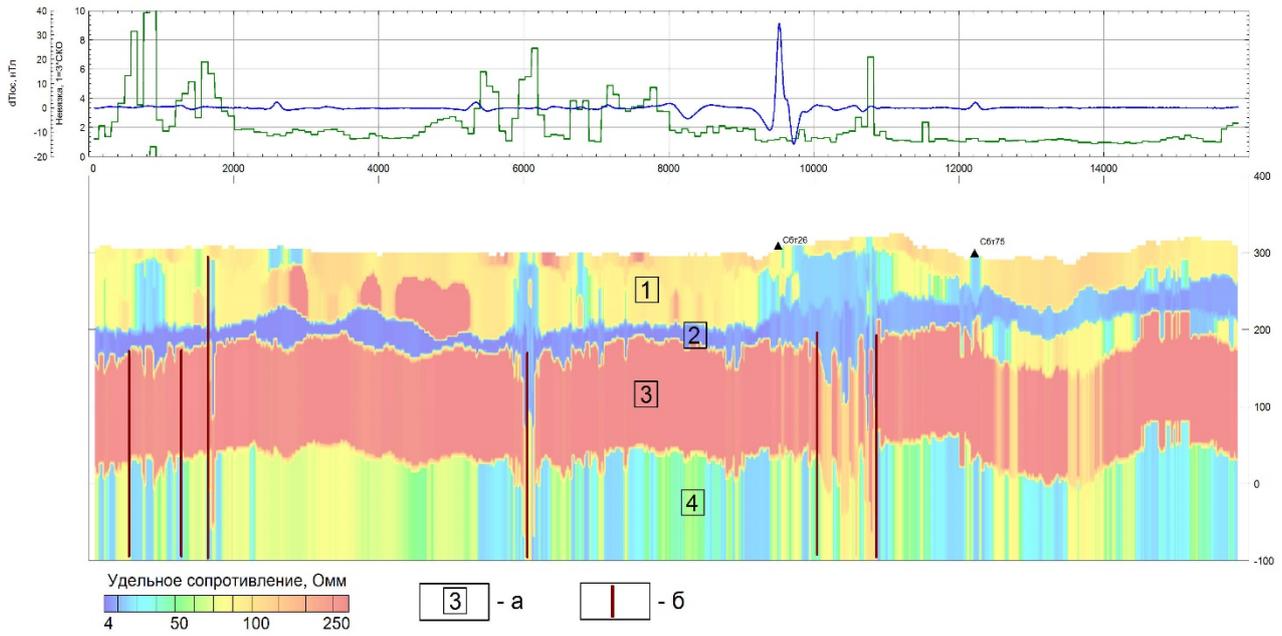
- Выполнено расчленение разреза на глубину до 350м. Установлена хорошая сходимость полученных данных с результатами бурения и ГИС.
- По результатам заверочного бурения были получены водопритоки значительного дебета.

### Благодарности

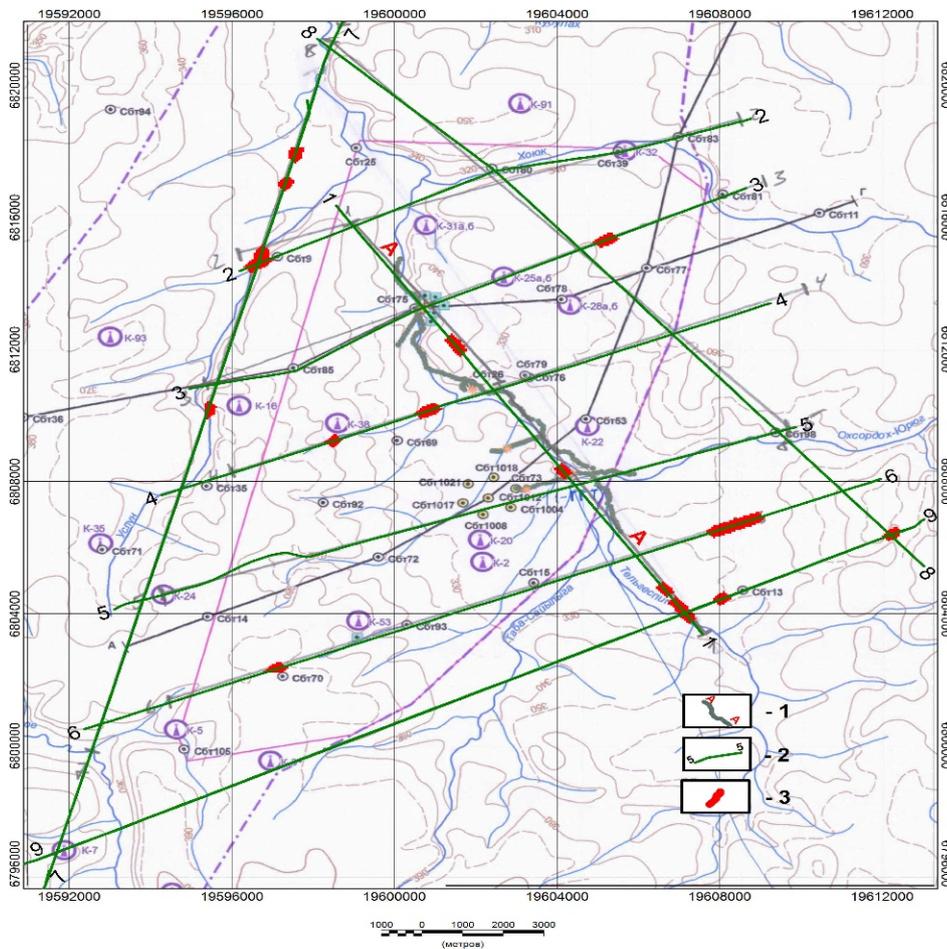
Авторы выражают благодарность С.З.Козаку и А.Г.Черняку за постановку задачи и внимание к работе.

### Литература

1. Барсуков П.О., Файнберг Э.Б., Хабенский Е.О. ТЕМ-FAST-технология малоглубинной электроразведки// Приборы и системы разведочной геофизики. Саратов, 2006, №2, стр. 28-34.
2. Волковицкий А.К., Каршаков Е.В., Мойланен Е.В. Новая вертолетная аэроэлектроразведочная система ЭКВАТОР для метода АМПП: Приборы и системы разведочной геофизики, №2,2010 (32), стр.9–11.
3. Jupp D. L. B., Vozoff K., Stable Iterative Methods for the Inversion of Geophysical Data: Geophys. J. R. astr. SOC. (1975) 42, 957-976.



**Рисунок 1.** Пример интерпретации результатов измерений с аппаратурой ЭКВАТОР по маршруту 1 (а – номер геоэлектрического горизонта, б – зоны, перспективные для бурения на воду, выделенные как зоны с аномальными значениями параметров по всему разрезу).



**Рисунок 2.** Схема перспективных для бурения на воду субвертикальных зон по данным аэроМПП (1 – профили наземных ЗСБ-МПП, 2 – маршруты полетов с аппаратурой ЭКВАТОР, 3 – зоны, перспективные для бурения на воду).