

**ОАО «ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»**

НП СРО «АССОЦИАЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

ООО «ГЕОМАРКЕТИНГ»

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**МАТЕРИАЛЫ ВОСЬМОЙ ОБЩЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ**

13–14 ДЕКАБРЯ 2012 Г.

**МОСКВА
2012**

МНОГОЧАСТОТНЫЕ РАДИОВОЛНОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Инженерные изыскания под строительство или реконструкцию инженерно-технических сооружений всегда включают в себя геофизические методы и бурение скважин. В условиях городской застройки использование наземных геофизических методов часто ограничено малыми размерами строительной площадки, влиянием подземных коммуникаций и высокого уровня помех. В этих условиях хорошими возможностями обладают методы скважинной геофизики, в частности метод межскважинного радиоволнового просвечивания. Метод начал разрабатываться с середины прошлого века для поиска хорошо проводящих рудных тел [4], однако, начало его применения при изысканиях под строительство инженерных сооружений относится к весьма недавнему времени [2].

Современная модификация радиоволнового просвечивания (метод РВГИ — радиоволновая геонитропсия) основана на зависимости затухания сигнала от электрических характеристик пород, расположенных на трассе излучатель — приемник. Измерения проводятся по веерной схеме (Рис. 1).

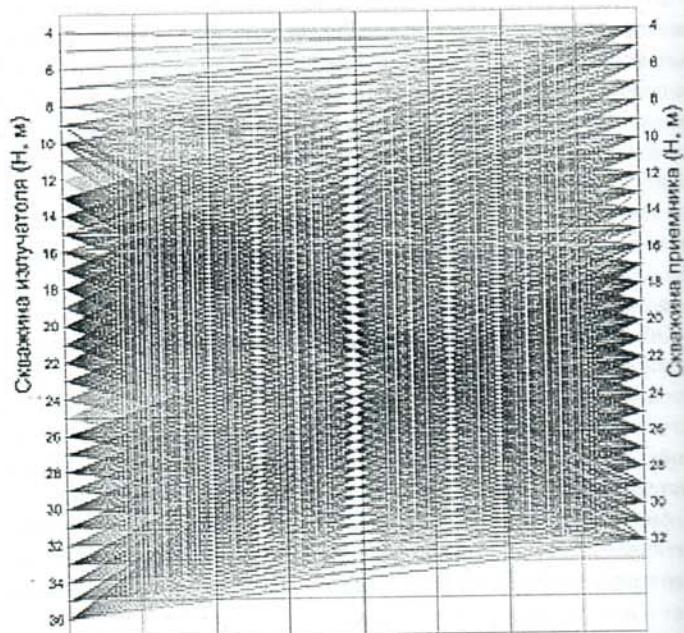


Рис. 1. Веерная схема наблюдений в методе РВГИ

Применение многочастотной аппаратуры РВГИ-2007 (0,03–30 МГц) с одной стороны позволяет адаптировать измерительную систему к решению различного рода задач (т.е. получить максимальное разрешение при заданном расстоянии между скважинами), а с другой, пользуясь частотную зависимость сигнала, выйти на определение не только эффективного электрического сопротивления, но и диэлектрической проницаемости. В результате совместной обработки данных по всем сечениям на исследуемой площади рассчитывается трехмерная матрица электрических сопротивлений (объемная геоэлектрическая карта), позволяющая строить геоэлектрические планы на выбран-

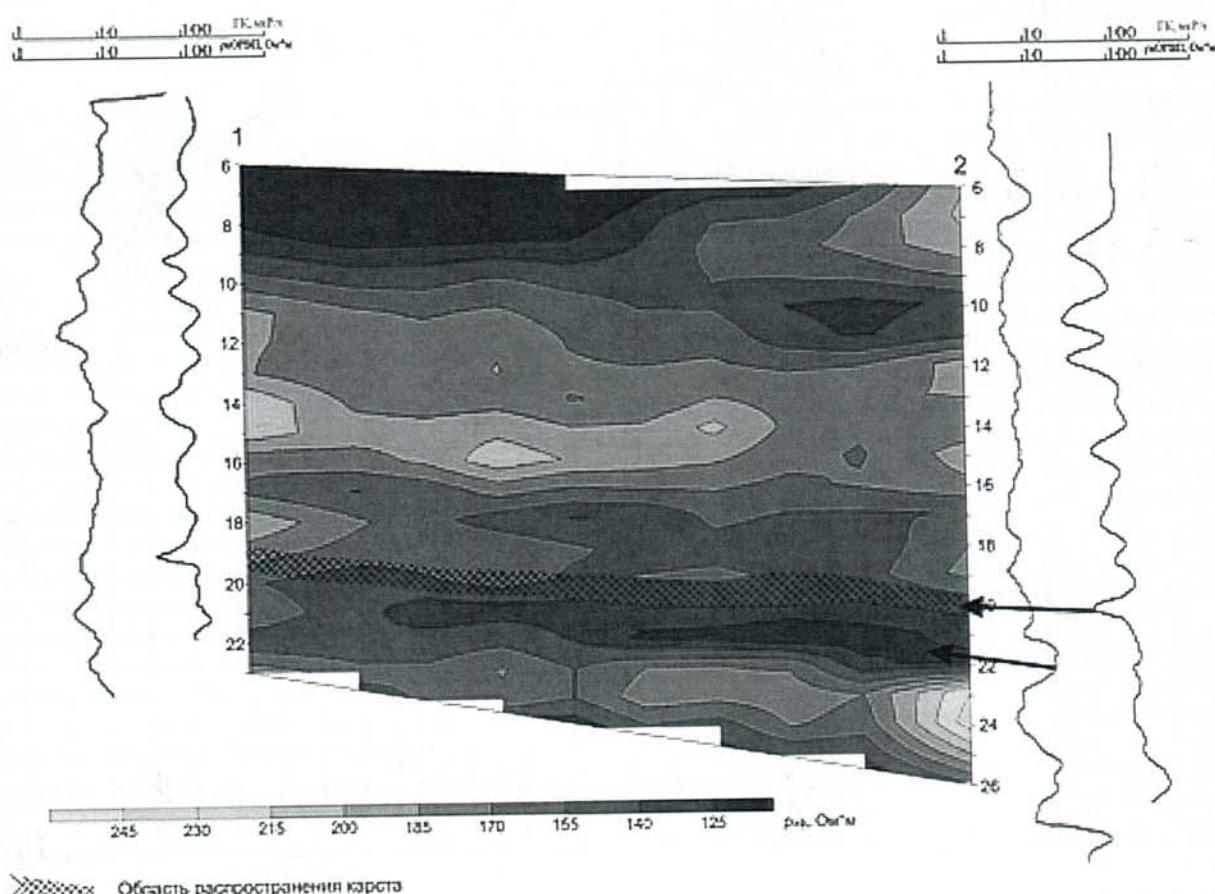


Рис. 2. Геоэлектрический разрез в основании фундамента сооружения. Сечение скважин 1-2 на частоте 20 МГц

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСЛОЙНОЙ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ МНОГОЧАСТОТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОРВП

слой	скв. №3				скв. №11				скв. №7			
	h, м	ρ, Омм	ε, отн.ед.	γ, мкР/ч	h, м	ρ, Омм	ε, отн.ед.	γ, мкР/ч	h, м	ρ, Омм	ε, отн.ед.	γ, мкР/ч
супинок	10.5	9.5	27	13	9.3	15	22	16	9.8	14	33	13
песок	12.5	8	51	8	12.5	8	51	5.5	13	14	27	10
супинок	15.8	5	33	22	15.6	4	26	18	17.2	11	27	29
песок	18.5	9	40	8.5	19.3	12	27	7	19.6	11	33	11
глина	20.2	19	13	13	21	8	20	25	20.4	8.5	40	22
известняк	22.1	26	10	6	23	7	41	9	22.1	9	32	9
глина	25	7.5	22	18.5	25.3	8	20	20	24.1	6.5	25	19
известняк	30.5	30	8	5	29.4	15	8	3	27.9	15	31	3
	34.3	50	7		29.7	14	23					
					32	9	57					

ной глубине или геоэлектрические разрезы по заданному направлению. Существует также односкважинная модификация метода — ОРВП (односкважинное радиоволновое профилирование), позволяющая изучать околоскважинное пространство. Метод может работать в открытом стволе, как в сухих, так и водных скважинах, или в скважинах, обсаженных полипропиленовыми трубами.

За прошедшее пятилетие геофизической фирмой ООО "Радионда" метод РВГИ применялся на разных инженерных объектах, в различных условиях для решения широкого круга задач. К настоящему времени накоплен определенный опыт применения скважинных методов в инженерной геологии, преимущества которого демонстрируются в настоящем докладе на примерах.

Одной из основных задач при инженерных изысканиях является выделение картоопасных участков. На рис. 2 приведен геоэлектрический разрез, полученный по данным РВГИ на частоте 20 МГц в известняках. Рядом с соответствующими скважинами приведены

данные каротажа ОРВП и ГК. В сечении 1–2 наблюдается вытянутая маломощная низкоомная область, вскрытая скважиной 2 на глубине 20,5–22,0 м. Этот интервал, по данным бурения, соответствует переслаиванию сильно трещиноватых и кавернозных известняков слабой прочности и глин. По данным гамма-каротажа, глины в пределах этого интервала выделяются на глубине 21,2–22,0 м. Низкоомная область, которая наблюдается выше глинистого пласта (до глубины в центральной части разреза 1–2), связана с сильно насыщенными водой известняками, что подтверждается результатами каротажа ОРВП в скважине 2 — локальным понижением уровня УЭС. По данным РВГИ эта область протягивается практически до скважины 1.

При использовании многочастотных измерений ОРВП в отдельных более выраженных по мощности горизонтах может быть проведена количественная интерпретация с вычислением диэлектрической проницаемости пород. Данные этих расчетов приведены в таб-

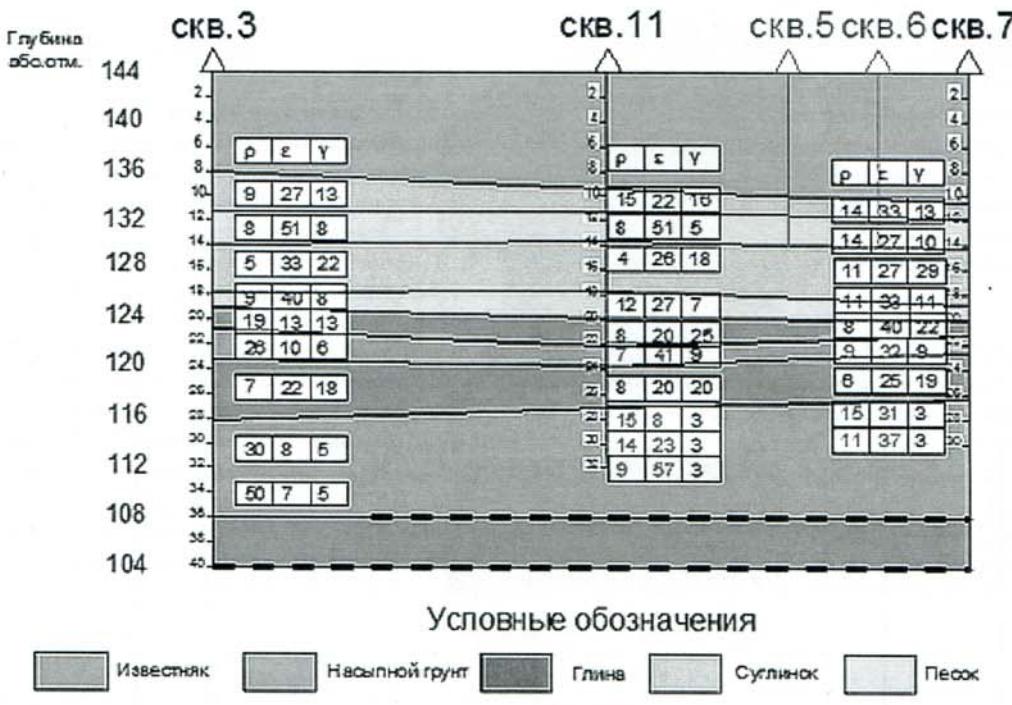


Рис. 3. Сводный геоэлектрический разрез по данным каротажа с результатами количественной интерпретации

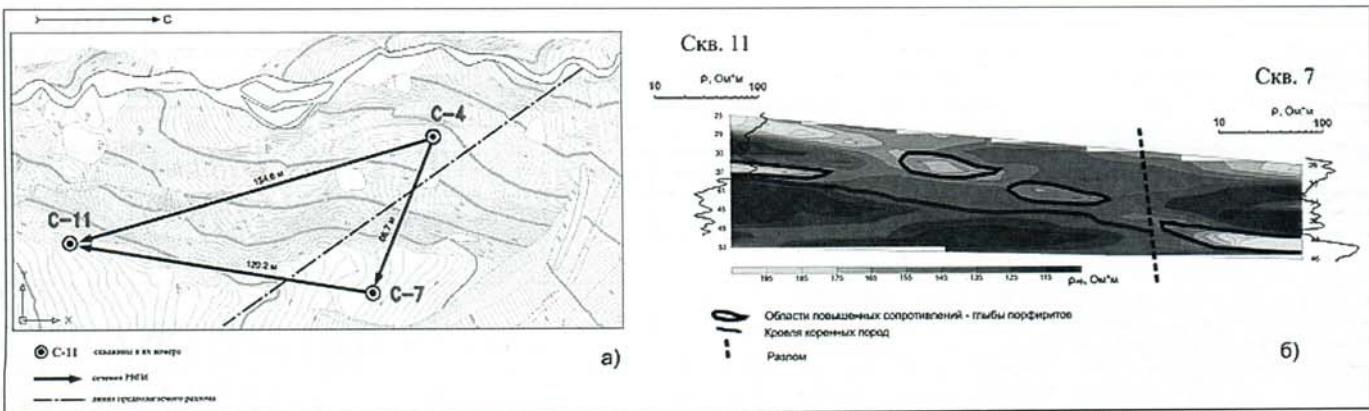


Рис. 4. Оползневой склон: а) схема измерений РВГИ, б) геоэлектрический разрез по линии скважин 11-7.
Частота 156 кГц

лице 1 в которой указана литология, глубина интервала и эффективные значения измеренных параметров.

Из таблицы видно, что глины, отмечаемые высокой гамма-активностью, обладают электрическим сопротивлением менее 10 Ом·м и относительной диэлектрической проницаемостью выше 20 единиц. Электрическое сопротивление суглинков чуть выше, чем у глин — 15 Ом·м, а диэлектрическая проницаемость чуть ниже. Известняки, обладающие гамма-активностью ниже 10 мкР/ч, можно с помощью сопротивления и диэлектрической проницаемости разделить по степени обводненности и трещиноватости. Ненарушенные известняки (такие, как в скважине 3) имеют электрическое сопротивление выше 30–0 Ом·м и низкую диэлектрическую проницаемость в районе 10 единиц. У разрушенных, закарстованных известняков электрическое сопротивление падает до 10–15 Ом·м (почти как у глин), а диэлектрическая проницаемость вырастает до 30 (Скв. №11). Диэлектрическая проницаемость водонасыщенных песков доходит до 40–50 отн.ед.

На рисунке 3 представлен сводный геологический разрез по данным каротажа с результатами количественной попластовой интерпретации. Красными цифрами показаны электрические параметры

известняков, указывающие на то, что породы скорее всего закарстованы и сильно обводнены.

Другой важной задачей является изучение оползнеопасных склонов. На рисунке 4а представлен план участка работ. Пересеченный рельеф затрудняет применение наземных методов. Коренные породы, представленные аргиллитами, перекрыты элювиальными суглинками и щебенистым грунтом, в котором встречаются глыбы порфиритов. Во всех скважинах был проведен каротаж ОРВП и съемка РВГИ на частоте 156 кГц. Сечения РВГИ отмечены стрелками и приведены расстояния между скважинами. На рисунке 4б представлен геоэлектрический разрез между скважинами 11–7, совмещенный с диаграммами каротажа ОРВП. Видно, что изменения уровня сопротивлений по каротажу соответствуют резкие изменения сопротивлений на разрезе. Кровля коренных аргиллитов по скважине 11 выделяется понижением электрического сопротивления на глубине 38,4. В скважине 7 кровля аргиллитов смешена ниже и выходит за интервал исследований, однако понижение сопротивления к забою позволяет предполагать наличие аргиллитов несколько ниже. Общий характер геоэлектрического разреза предполагает возможное смещение северного блока пород вниз. Это же смещение отмечается и в сечении скважин 4–7,

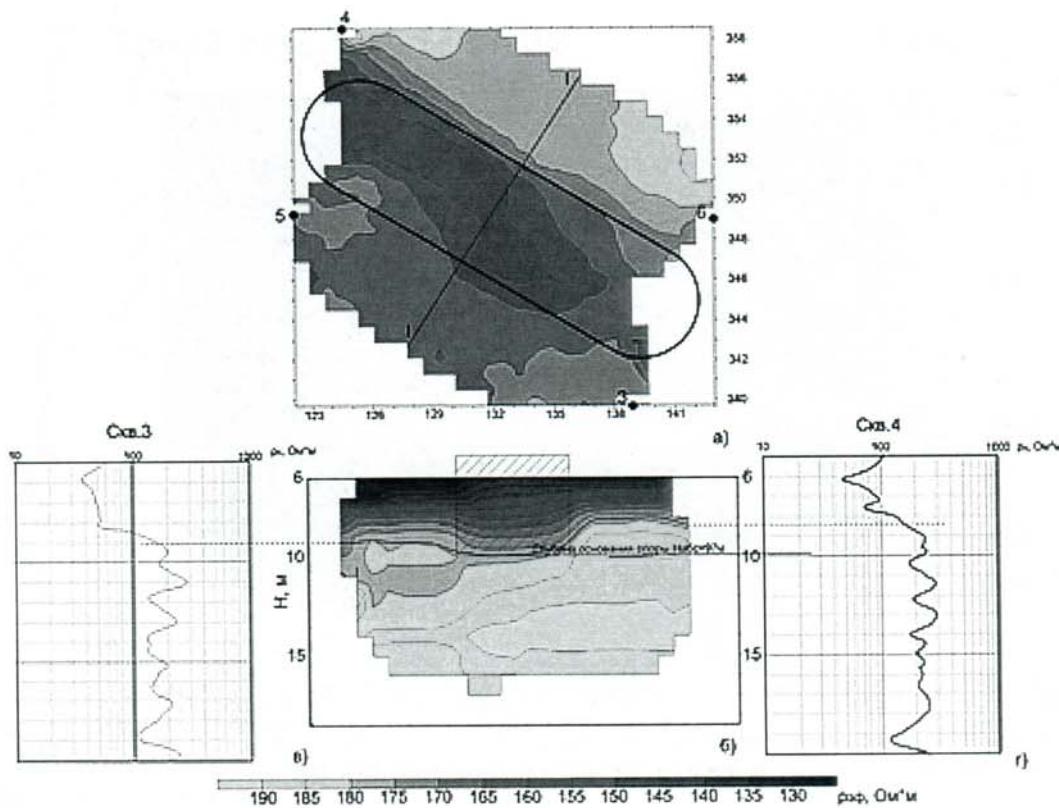


Рис. 5. Определение нижней границы фундамента по поперечному разрезу 3D геоэлектрической карты РВГИ

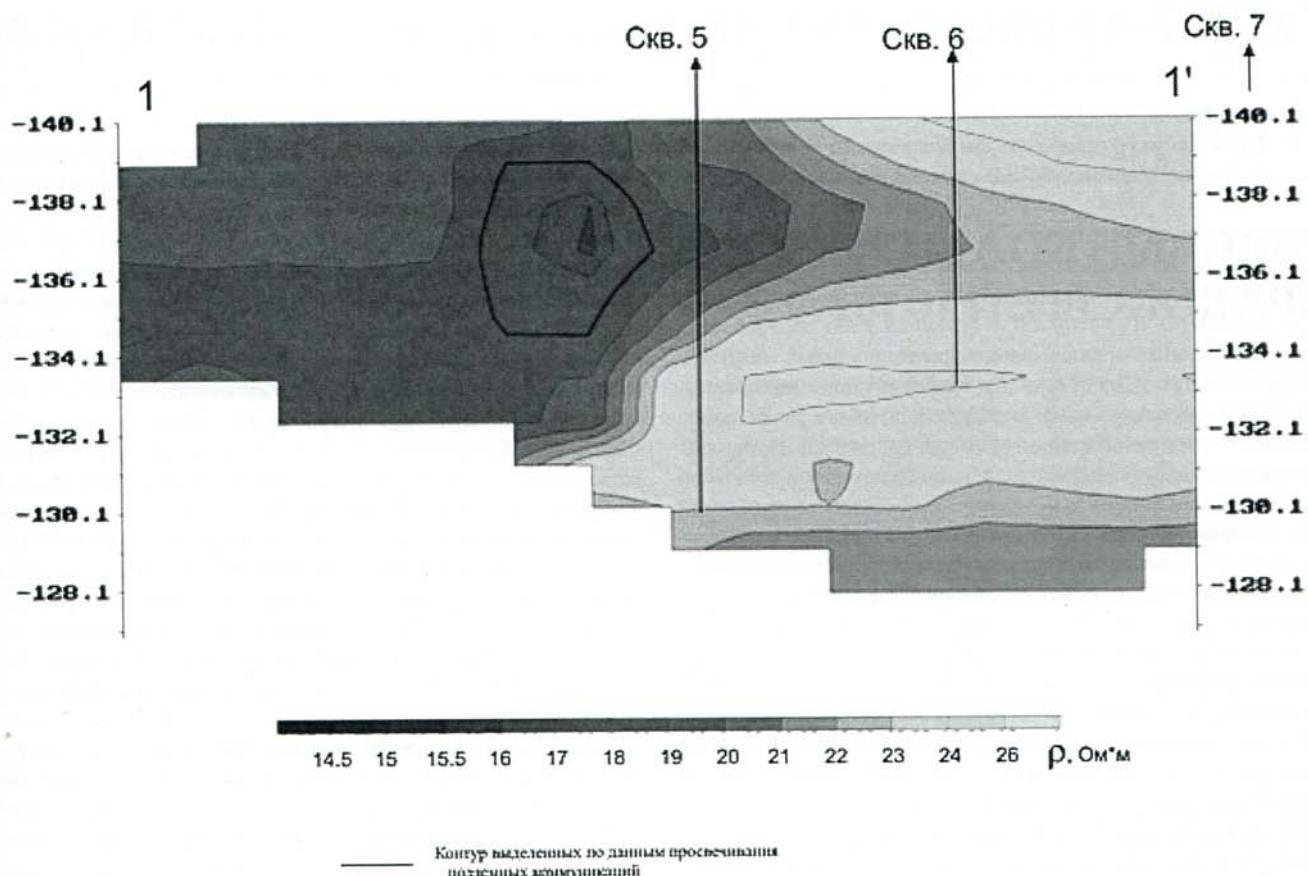


Рис. 6. Фрагмент 3D геоэлектрической карты РВГИ (частота $f = 1,25$ МГц). Вертикальное сечение по линии 1-1'

что позволяет провести линию разрывного нарушения, как показано на рисунке 4а. Повышенными значениями сопротивления выделяются глыбы порфиритов, подсеченные скважиной 11 в интервале 34,5–37,4 м и скважиной 7 в интервале 40,5–44,7 м. Наличие глыб порфиритов можно предполагать в областях повышенного сопротивления в межскважинном пространстве, обведенных черными линиями.

При реконструкции действующих объектов часто возникает необходимость установления фактической глубины заложения их фундамента.

На рисунке 5 представлен пример определения глубины заложения фундамента кессонного типа. В геологическом отношении участок сложен известняками различной прочности, залегающими субгоризонтально, перекрытыми аллювиальными отложениями. Измерения РВГИ на частоте 20МГц, проведенные в сечениях скважин 3–4 позволили построить геоэлектрическую карту (Рис. 5а). В центральной части разреза (Рис. 5б) четко проявляется локальное понижение подошвы пород с низким сопротивлением, связанное с влиянием опоры. Вопрос заключается в том, по какой именно изолинии следует провести нижнюю границу кессона? На обеих каротажных кривых ОРВП (Рис 5в, г) хорошо выделяются интервалы перехода от грунтов с низким сопротивлением к грунтам с более высоким сопротивлением. В отсутствии фундамента эта граница и в данных просвечивания прошла бы горизонтально. Изолиния с $\rho_{\text{зф}} = 180$ Ом·м, соединяющая указанные интервалы перехода на графиках ОРВП, в средней части геоэлектрического разреза опускается вниз до глубины с абсолютной отметкой $H_{\text{абс}} = 97$ м, которая может быть принята за глубину заложения фундамента.

Элементы подземных конструкций, если они выполнены из железобетона, и старые обводненные коллекторы на геоэлектрических разрезах РВГИ проявляют себя, как низкоомные объекты. На рисунке 6 представлен пример такого коллектора, выявленного при инженерных изысканиях в насыпных грунтах.

В результате проведенных работ сформировался комплекс скважинных геофизических методов для инженерных исследований, включающий гамма-каротаж для литологического расчленения разреза по глинистости, многочастотное ОРВП для установления степени обводненности и трещиноватости пород и межскважинное просвечивание РВГИ. При проведении РВГИ используются максимально короткие антенны, а необходимая дальность исследований обеспечивается изменением частоты. В известняках обычно возможно использование высоких частот в единицы и десятки мегагерц, а в песчано-глинистых грунтах используются частоты ниже 600 кГц.

Литература:

- Борисов Б.Ф., Гуревич Г.Ф., Чигирина И.И. Методические указания по обработке и интерпретации результатов радиопросвечивания в анизотропных средах при редкой сети скважин. М.: Изд-во ЦНИГРИ, 1984. С. 7–41.
- Истратов В.А. Радиоволновые исследования межскважинного пространства // Инженерные изыскания. 2008. № . 78–83.
- Кузнецов Н.М. Способ 3D обработки данных радиоволнового просвечивания межскважинного пространства // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 1. Вып. № 19. С. 240–246.
- Петровский А.Д. Москва, ЦНИГРИ, 2001.