

Л.Г. Нерадовский

К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ЭКРАНИРУЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ ПЕРВИЧНОГО ПОЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ДИПОЛЯ

Рассмотрены особенности пространственной изменчивости на территории Лено-Амгинского междуречья Центрально-Якутской низменности вертикальной, горизонтальной компонент и параметра амплитудного ослабления гармонического поля высокочастотного вертикального магнитного диполя. Доказано, что в промежуточной зоне параметра приведенного расстояния действие первичного магнитного поля на результат измерений вторичного магнитного поля индукционных вихревых токов теряет свою доминирующую роль и не препятствует изучать мерзлые грунты слоя годовых теплооборотов.

Ключевые слова: мерзлые грунты, слой годовых теплооборотов, метод индукции, вертикальная и горизонтальная компоненты магнитного поля, параметр амплитудного ослабления.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-139-148

Введение

Положительный опыт работ методом дистанционного индуктивного зондирования (далее, метод индукции) в Якутии, Забайкальском крае и Амурской области, не убеждает геофизиков признать и использовать в своих целях новую методику упрощенного изучения мерзлых грунтов слоя годовых теплооборотов (СГТ) по параметру амплитудного ослабления (далее, параметр k) высокочастотного гармонического поля вертикального магнитного диполя (ВВМД). Причин этому много и среди них едва ли не главное место занимает сформировавшийся в прошлом веке стереотип предназначения методов геоэлектрики в рамках решения задач поиска и разведки месторождений полезных ископаемых.

В глазах геофизиков разных поколений ценность и самостоятельность применения методов геоэлектрики состояла и состоит в изучении базовых электрофизических характеристик геологической среды (электрической проводимости и диэлектрической и магнитной проницаемости) с построением соответствующих геоэлектрических разрезов. Да, такие знания, безусловно, важны, но все же, ограничены и не полны, а значит, физически не репрезентативны в части представлений о процессе энергетического взаимодействия электромагнитных полей с геологической средой. С этой точки зрения итоговой мерой взаимодействия, выражающей реакцию среды на электромагнитное возбуждение, логически предстают характеристики ампли-

тудного ослабления электромагнитных полей, включающие в себя на эмерджентном уровне совокупное действие базовых электрических характеристик, которые в свою очередь регулируются протекающими в среде механическими и физико-химическими процессами. Игнорирование такого подхода, отражающего динамическую сторону концепции общей теории систем применительно к геологии, иначе, как методологическим тупиком не назовешь. В особенности в сравнении с положением дел в сейсморазведке, где на протяжении десятилетий активно и эффективно используются характеристики затухания упругих волн при поисках неструктурных месторождений нефти и газа.

Справедливости ради надо сказать, что в отличие от консервативности методов индуктивной геоэлектрики на международной конференции «Георадар-2017» нашло понимание мнение о информационной ущербности методом георадиолокации без изучения динамики импульсного электромагнитного поля. Тем не менее, ситуация принципиально не изменилась в обозначенной проблеме и вместо итога геофизики по-прежнему склонны изучать только причины его породившие. Подменяя прямой путь простейшего изучения в природных условиях динамики поля с расчетом реальных характеристик его амплитудного ослабления гораздо более сложным косвенным путем математического или, в лучшем случае, лабораторного моделирования приблизительных дисперсионных частотных оценок электрической проводимости геологической среды на основе решения телеграфного уравнения [1–3].

Вернемся к методу индукции. В качестве оправдания нежелания изучать этим методом динамику поля ВВМД по параметру k геофизики используют, ча-

ще всего, сильный с первого взгляда довод о необходимости полной компенсации первичного магнитного поля (далее, первичное поле) техническими средствами или методическими приемами. Иначе, по их мнению, экранирующее влияние поля на результат измерения вторичного магнитного поля индукционных вихревых токов (далее, вторичное поле)¹, образующихся в геологической среде, будет настолько сильным, что полностью подавит ее воздействие. Цель настоящей статьи доказать ошибочность такого рода представлений для измерительной техники, в которой конструктивно не предусмотрена компенсация первичного поля. Впрочем, в иной аппаратуре, где она предусмотрена, возникают трудности в точной настройке и калибровке сложных электротехнических схем [9] и решении аналитическими методами сложной задачи оценки разностного сигнала в дальней волновой зоне [6, с. 63].

Все вместе взятое усложняет и замедляет процесс измерения вторичного поля, что, конечно же, не только ухудшает экономические показатели полевых работ методом индукции, но и ограничивает глубину изучения геологической среды несколькими метрами. Из этого следует вывод, что выше обозначенная цель настоящей статьи является актуальной для оперативного и более глубокого изучения мерзлых оснований проектируемых, построенных и эксплуатируемых инженерных сооружений в областях распространения вечной и многолетней мерзлоты.

Материал и методика исследований

Исследования выполнены методом индукции осенью 2011 г. по трассе ж/д «Беркакит-Томмот-Якутск», пересекающей на участке между станциями «Томмот-

¹ Зависящих от количества химически связанной и физически незамерзшей воды в порах и капиллярах минерального скелета мерзлых грунтов.

Кердем-Нижний Бестях» Лено-Амгинское междуречье, являющееся крупным геоморфологическим элементом Центрально-Якутской низменности. Инженерно-геологический разрез междуречья хорошо изучен в пределах СГТ до глубины 10 м трестами инженерно-строительных изысканий и Институтом мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. Бурением скважин вскрыта толща мерзлых озерно-аллювиальных грунтов песчано-глинистого состава с включениями залежей древних подземных льдов повторно-жильного генезиса, погребенных на глубине 1–3 м и реже, 5–7 м. Залежи льдов приурочены к возвышенным формам рельефа сложенных в разной степени льдистыми пылеватыми супесями и лессовидными суглинками. В направлении к станции «Нижний Бестях» происходит латеральная смена литологического состава грунтов. Глинистые грунты постепенно замещаются на песчаные грунты и на Бестяхской террасе образуют однородную по грансоставу мерзлую толщу незасоленных, нельдистых или слабольдистых песков эолово-аллювиального происхождения с весовой влажностью не более 10÷15%.

Средняя температура глинистых грунтов по трассе ж/д и песчаных грунтов на станции «Нижний Бестях» на глубине 10 м соответственно равна –1,6 и –0,1 °С.

Фактический материал исследований собран в 67 точках электромагнитных зондирований, выполненных на скважинах, и представлен совокупностью из 1382 значений модуля реальной и мнимой составляющих амплитуд вертикальной (H_z) и горизонтальной (H_r) компонент напряженности вторичного поля. Оно генерировалось и принималось точечными диполями — рамками в виде кольцевых антенн с внутренним и внешним диаметром 0,30–0,32 м.

Методика измерений, математической обработки и геологической интер-

претации данных метода индукции с аппаратурой «СЭМЗ» или ее современным цифровым аналогом «КАВ-ЭММ» подробно описана в работах В.Ф. Лебедева, В.И. Иголкина и др. [5, 4]. Краткое изложение технологии электромагнитного зондирования с этой техникой приводится ниже.

Измерение H_z и H_r выполнялось стрелочным микровольтметром на частоте 1,125 МГц. Выбор этой частоты среди других частот (0,281; 0,562; 2,250 МГц) объясняется возможностью изучать СГТ до глубины бурения скважин 10–15 м и высокой чувствительностью параметра k в этом слое к изменению свойств и состояний мерзлых грунтов. Во всех точках скважин излучающий диполь устанавливался неподвижно на геодезическую треногу на высоте 0,7 м и ориентировался с помощью угломерного устройства параллельно поверхности Земли. Оператор с приемным диполем, находящимся на такой же высоте, удалялся от излучающего диполя с шагом 5 м на расстояние (разнос) 5–50 м. На каждом шаге при горизонтальном и вертикальном положении приемного диполя соответственно измерялись H_z и H_r .

Кратко коснемся глубины изучения методом индукции мерзлых дисперсных грунтов Лено-Амгинского междуречья. Исследование этого вопроса, выполненное для всей Центрально-Якутской низменности, показывает, что при частоте 1,125 МГц, разнос 50 м, среднем эффективном электрическом сопротивлении 678 омметра и диэлектрической проницаемости 7,3 глубина электромагнитного зондирования составляет 80% от мощности скин слоя, т.е. 10 м [7, с. 83].

Таким образом, принятая методика изучения затухания поля ВВМД в целом обеспечила изучение мерзлых грунтов в СГТ до преимущественной глубины бурения скважин.

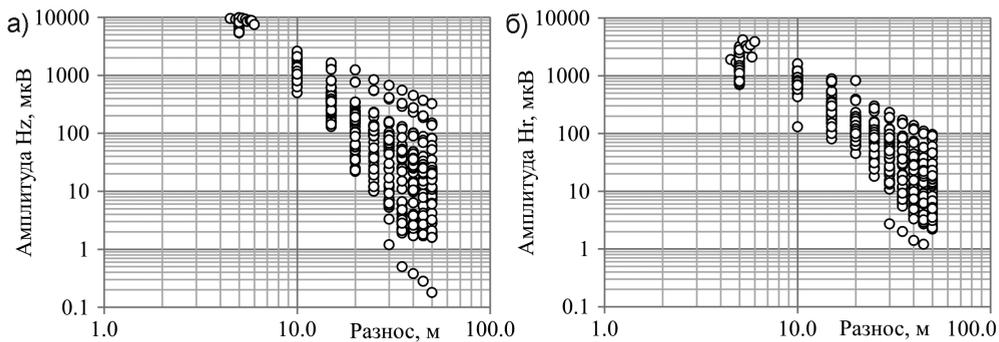


Рис. 1. Зависимости амплитуд вертикальной (а) и горизонтальной (б) компонент поля ВВМД от расстояния между излучающим и приемным диполем по трассе ж/д «Беркаки-Томмот-Якутск»

Обсуждение результатов

Обсуждение проведем в двух направлениях, анализируя пространственную изменчивость на Лено-Амгинском междуречье значений амплитуд H_z и H_r в зависимости от разноса, а также параметра k , оцененного по этим компонентам поля ВВМД в целом до глубины 10 м².

Сводные графики амплитуд H_z и H_r построены в двойном логарифмическом масштабе и приведены отдельно для двух участков. Первый участок это трасса ж/д протяженностью 403 км (ПК3818-ПК7850). Естественное основание трассы ж/д сложено преимущественно глинистыми грунтами (покровными коричневыми суглинками и лессовидными серыми супесями), являющихся материнской средой для залежей льдов.

Второй участок — площадка станции «Нижний Бестях». Ее основание сложено однородной толщей маловлажных высокотемпературных мерзлых песков.

Из анализа рис. 1 и рис. 2 следуют несколько выводов. Во-первых, в любых инженерно-геологических условиях изученной части Лено-Амгинского междуречья с увеличением разноса от 5 до 50 м наблюдается уменьшение амплитуд H_z и H_r . Во-вторых, в разных местах междуречья темп ослабления амплитуд на интервале разносов 5–10 м различный. В-третьих, по мере увеличения разноса разброс или вариативность амплитуд H_z и H_r растет, причем, существенно больше по трассе ж/д, нежели на площадке станции «Нижний Бестях». В этих, вместе взятых, частных эмпирических законо-

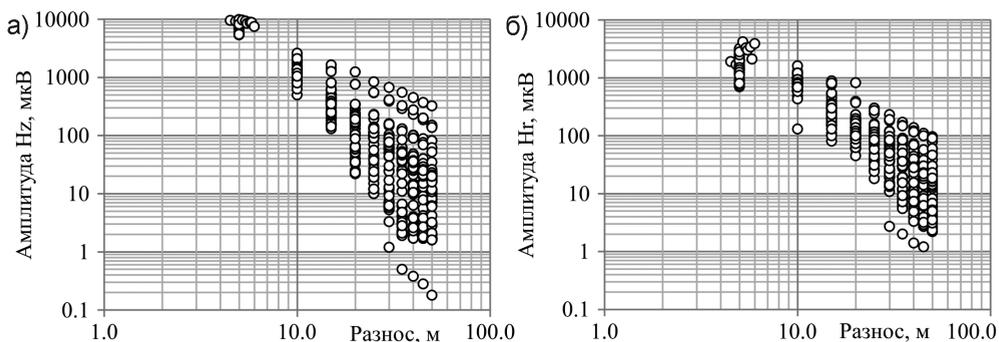


Рис. 2. Зависимости амплитуд вертикальной (а) и горизонтальной (б) компонент поля ВВМД от расстояния между излучающим и приемным диполем на площадке станции «Нижний Бестях»

² Значения параметра k соответствуют значениям показателя степенной функции, которая наиболее точно аппроксимировала монотонный нелинейный характер ослабления поля ВВМД на графиках амплитуд H_z , H_r .

мерностях нетрудно разглядеть общий характер поведения поля ВВМД в СГТ. А именно, на общем фоне уменьшения амплитуд H_z и H_r при неизменном магнитном моменте излучающего диполя наблюдать закономерное перераспределение вкладов энергии геометрического и мерзлотно-грунтовых факторов, т.е. разноса и магнитных чисел. Увеличение разноса, а значит, и глубины проникновения поля ВВМД в СГТ приводит к большему весу влияния на результат измерения вторичного поля мерзлотно-грунтовых и электрофизических (электрической проводимости, диэлектрической проницаемости) факторов над геометрическим фактором³.

Иначе говоря, сильное экранирующее влияние первичного поля, маскирующее и искажающее истинный результат измерения H_z и H_r вторичного поля, действительно существует, но лишь в ближней зоне приведенных расстояний (далее, ближняя зона). За ее пределами действие по мере удаления от излучающего диполя эффект экранирования стремительно ослабевает по нелинейному закону, уступая доминирующую роль мерзлотно-грунтовым и электрофизическим факторам. В противном случае их

Таблица 1

Дистанционный прирост коэффициента вариации амплитуд компонент поля ВВМД по отношению к разносу 5 м на трассе ж/д

Разнос в метрах	H_r , %	Прирост H_z	H_r , %	Прирост H_r
5	15	1,0	44	1,0
10	28	1,9	30	0,7
15	69	4,6	30	0,7
20	109	7,3	55	1,3
25	133	8,9	73	1,7
30	154	10,3	83	1,9
35	180	12,0	96	2,2
40	200	13,3	106	2,4
45	203	13,5	111	2,5
50	213	14,2	121	2,8

³ В ближней, промежуточной и дальней зоне этот фактор характеризует ослабление первичного поля ВВМД соответственно по кубическому, квадратичному и линейному закону.

влияние было бы полностью подавлено первичным полем во всем диапазоне разносов промежуточной зоны приведенного расстояния (далее, промежуточная зона), и мы наблюдали бы одну и ту же однообразную картину ослабления амплитуд H_z и H_r в любом месте Лено-Амгинского междуречья.

Посмотрим, с какого разноса экранирующее действие первичного поля можно считать ослабевшим настолько, что оно уже не препятствует изучать влияние геологической среды на параметр k . Примем за эту меру прирост коэффициента вариации амплитуд H_z и H_r более, чем в два раза превышающий соответствующие значения на начальном разносе 5 м, где эффект экранирования очень велик. В этом случае искомое событие, наступает в промежуточной зоне на разных разносах в зависимости от инженерно-геологических условий измерений H_z и H_r . На трассе ж/д «Беркаит-Томмот-Якутск» эффект экранирования H_z очень быстро теряет свою силу в ближней зоне, начиная с разноса 10 м (рис. 3, а; табл. 1).

Судя по затуханию темпа прироста вариаций H_z , эта компонента поля ВВМД практически полностью освобождается

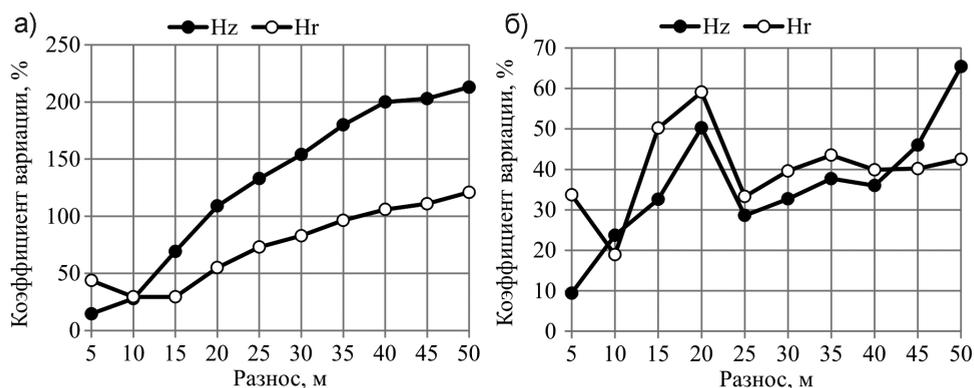


Рис. 3. Сводные графики пространственной динамики амплитуд вертикальной и горизонтальной компонент поля ВВМД в зависимости от расстояния между излучающим и приемным диполем по трассе ж/д «Беркабит-Томмот-Якутск» (а) и на площадке станции «Нижний Бестях» (б)

от влияния излучающего диполя на удалении 40 м, тогда как H_r ведет себя иначе. На всем протяжении разносов она все еще находится в зоне этого влияния, хотя оно существенно снижается, начиная с разнosa 35 м. Как видим, H_r не только более восприимчива к воздействию первичного поля, но, что совсем нехорошо, непредсказуема в ближней зоне.

На площадке станции «Нижний Бестях» экранирующее влияние первичного поля на результат измерения вторичного поля существенно усиливается промышленными помехами со стороны многочисленных и разнообразных электроустановок, свайного фундамента и

других элементов конструкций инженерных объектов, которые строились на период проведения работ методом индукции. В этих неблагоприятных условиях чувствительность в промежуточной зоне на максимальном разнosa 50 м компонент H_z и H_r к изменению мерзлых мало-влажных высокотемпературных песков ухудшается в два раза, но все еще достаточна для их достоверного изучения по параметру k (рис. 3, б; табл. 2).

Совместное действие первичного поля и промышленных помех усиливают непредсказуемость вариативного поведения в ближней и промежуточной зоне компонент поля ВВМД и в особенности,

Таблица 2

Дистанционный прирост коэффициента вариации амплитуд компонент поля ВВМД по отношению к разносу 5 м на площадке станции

Разнос в метрах	H_z , %	Прирост H_z	H_r , %	Прирост H_r
5	9	1,0	34	1,0
10	24	2,5	19	0,6
15	33	3,5	50	1,5
20	50	5,4	59	1,8
25	29	3,0	33	1,0
30	33	3,5	40	1,2
35	38	4,0	44	1,3
40	36	3,8	40	1,2
45	46	4,9	40	1,2
50	65	7,0	43	1,3

компоненты H_r . В таких условиях не всегда возможно понять и объяснить природу их непредсказуемого поведения. В конкретном случае, рассматривая совместную аномалию вариации H_z и H_r на разносах 15–20 м (см. рис. 3, справа), это возможно сделать по данным термометрии скважин и общим геологическим сведениям по Бестяхской террасе. Руководствуясь ими, природа аномалии с большей вероятностью объясняется сложным сочетанием влажности и температуры мерзлых песков на глубине 10–11 м в зоне присутствия линз межмерзлотных водонасыщенных таликов.

Итак, даже в сложных инженерно-геологических условиях строительства инженерных объектов компонента H_z оказывается не только более устойчивой к помехам, нежели компонента H_r ⁵, но и более информативной по чувствительности к изменению мерзлых грунтов, что видно по широте изменчивости⁶ параметра k . Разница по этому показателю на трассе ж/д и станции составляет 38 и 22% (рис. 4). Причина снижения на станции, как уже выше отмечено, заключена

не в ухудшении природной чувствительности параметра k в мерзлых маловлажных высокотемпературных песках, а в усилении промышленных помех.

Из рассмотрения рис. 4 становится очевидной доминирующая зависимость параметра k к изменению инженерно-геологических условий строительства на Лено-Амгинском междуречье.

Действительно, по трассе ж/д протяженностью в сотни километров с многообразием мерзлотно-грунтового строения ее естественного основания интервал изменчивости минимальных и максимальных значений параметра k по H_z (1,42–5,44 м⁻¹) и H_r (1,27–4,53 м⁻¹) велик и составляет 4,02 и 3,26 м⁻¹. Напротив, на станции размером около одного километра с однообразием ландшафта и инженерно-геологических условий строительства на мерзлых песках интервал изменчивости значений параметра k по H_z (0,97–2,21 м⁻¹) и H_r (1,13–1,75 м⁻¹) резко уменьшается до 0,97 и 1,10 м⁻¹.

Относительная разница линейной и площадной динамики параметра k на этих макроключевых природно-техноген-

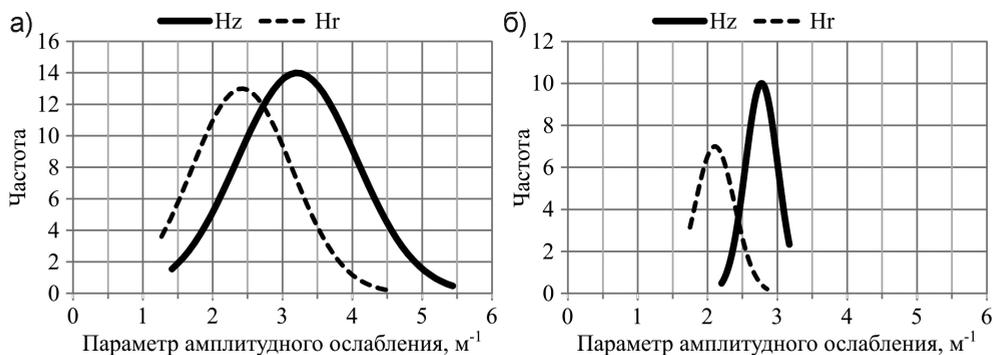


Рис. 4. Теоретическая аппроксимация по закону Гаусса вероятностного распределения параметра k по вертикальной и горизонтальной компонентам поля ВВМД на трассе ж/д «Беркакит-Томмот-Якутск» (а) и на площадке станции «Нижний Бестях» (б)

⁴ Расчет сделан по методике В.С. Титлинова и Р.Б. Журавлевой [11] для мерзлых песков со средними значениями эффективного электрического сопротивления 996 омметра и действительной частью комплексной диэлектрической проницаемостью 5,4.

⁵ В этом факте нет ничего нового, так как известно, что при установке излучающего и измерительного диполей на некоторой высоте от поверхности Земли на H_r в больше действует верхнее воздушное полупространство, а на H_z — нижнее грунтовое полупространство.

⁶ На уровне доверительной вероятности 70%, исключая асимптотические части рис. 4 с единичными аномальными значениями параметра k .

ных комплексах Лено-Амгинского междуречья составляет 122 и 99% (по коэффициенту вариации 104 и 76%). Как видим, и в этой форме обобщения фактического материала проступает приоритет параметра k по более информативной в геологическом отношении компоненте H_z .

Таким образом, в обстановке полевого эксперимента доказано, что экранирующее действие первичного поля ВВМД не столь всеобъемлюще и не препятствует с приемлемой для науки и практики точностью изучать по параметру k пространственную динамику ослабления в СГТ поля ВВМД в зависимости от всего внутреннего содержания мерзлых грунтов. Причем, для решения этой задачи при производстве большого объема работ методом индукции достаточно ограничиться без существенной потери геологической информативности измерением только одной вертикальной компоненты поля. Этот вывод, сделанный по результатам частного эксперимента, распространяется на всю Центрально-Якутскую низменность. Основанием для такого высокого уровня обобщения служит работа П.А. Соловьева, в которой он усматривает природное сходство во многих отношениях⁷ двух основных частей низменности: Лено-Амгинского и Лено-Вилюйского междуречий [10, с. 4]. Вполне возможно, что и меньшее по площади Лено-Алданское междуречье обладает с ними сходством, принимая во внимание представленную в работе карту распространения аласного рельефа в Центральной Якутии.

Что касается доказательства выше заявленной приемлемой точности решения инженерно-геологических задач по параметру k , то оно получено в криолитозоне Восточной Сибири и Дальнего Востока⁸ применительно к изучению в СГТ методом индукции для двух важней-

ших показателей физических свойств мерзлых грунтов: температуры и объемной льдистости [8].

Заключение

Экспериментальные исследования на территории Лено-Амгинского междуречья доказали, что даже в условиях не скомпенсированного техническими средствами и методическими приемами экранирующего влияния первичного поля ВВМД на результат измерения амплитуды вторичного поля индукционных вихревых токов не остается доминирующим над мерзлотно-грунтовыми факторами. Их влияние настолько сильно, что обеспечивает в промежуточной зоне разносов с приемлемой для науки и практики точностью решать задачу количественной оценки по параметру k усредненных показателей наиболее важных в строительном отношении свойств мерзлых грунтов до глубины 10–15 м.

Сравнительный анализ пространственной динамики фактического материала показывает, что эта нетривиальная задача наземной геоэлектрики может быть успешно решена в пределах всей Центрально-Якутской низменности по вертикальной компоненте поля ВВМД. В отличие от горизонтальной компоненты поля она более чувствительна к изменению инженерно-геологических условий строительства инженерных сооружений на мерзлых грунтах. Такая возможность без существенной потери геологической информации упрощает процесс полевых измерений в условиях пересеченной местности с негоризонтальным рельефом и действием помех на застроенных территориях, а также улучшает показатели экономической эффективности метода индукции в особенности на протяженных линейных сооружениях.

⁷ Геоморфологическому, ландшафтному облику и геокриологическому строению междуречий.

⁸ Диссертационная работа, заключающая в себе результаты многолетних региональных исследований, находится в открытом доступе на сайте Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров П. Н. Теоретические основы георадарного метода. — М.: Физматгиз, 2017. — 120 с.
2. Владов М. Л., Пятилова А. М. Оценка поглощающих свойств среды при георадиолокационных исследованиях в лабораторных условиях // Геофизика, 2015. — № 6. — С. 55–61.
3. Владов М. Л., Капустин В. В., Пятилова А. М., Кувалдин А. В. Георадарные наблюдения для оценки проводимости геологической среды. Лабораторный эксперимент // Геофизические исследования. — 2017. — т. 18. — № 3. — С. 5–16.
4. Иголкин В. И., Шайдуров Г. Я., Тронин О. А., Хохлов М. Ф. Методы и аппаратура электрозвездки на переменном токе. — Красноярск: Изд-во СФУ, 2016. — 272 с.
5. Лебедев В. Ф., Онущенко В. И., Литвинцева Л. М. Комплекс СЭМЗ. Методическое пособие. — Красноярск: Изд-во НПО «Сибцветметавтоматика», 1991. — 60 с.
6. Манштейн А. К. Малоглубинная геофизика. Пособие по спецкурсу. — Новосибирск, 2002. — 135 с.
7. Нерадовский Л. Г. Упрощенный подход изучения мерзлых грунтов методом дистанционного электромагнитного зондирования // Геофизика. — 2017. — № 2. — С. 79–87.
8. Нерадовский Л. Г. Научно-методические основы изучения мерзлых грунтов слоя годовых теплооборотов методами электромагнитных зондирований: дис. ... доктора технических наук: 25.00.08; Ин-т мерзлотоведения СО РАН. — Якутск, 2016. — 378 с.
9. Манштейн А. К., Балков Е. В. Патент РФ № 2502092. МПК8 G01V3/10. от 01.08.2011. Способ и устройство для индукционного частотного зондирования. 2013. Бюлл. № 25. 8 с.
10. Соловьев П. А. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. — М.: АН СССР, 1959. — 144 с.
11. Титлинов В. С., Журавлева Р. Б. Технология дистанционных индуктивных зондирования. — Екатеринбург: УИФ «Наука», 1995. — 56 с.
12. Bannister P. R. Summary of image theory expressions for the quasi-static fields of antennas at or above the earth's surface. Proc. IEEE, Vol. 67, no 7, 1979, pp. 1001–1008.
13. Richard S. Taylor Mapping sites of environmental contamination with a dual-geometry electromagnetic (EM) system. SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2000, pp. 1374–1376.
14. Won I. J., Keiswetter D. A., Fields G. R. A., Sutton L. C. GEM-2: a new multifrequency electromagnetic sensor // J. Environ. Eng in Geophys, 1996, vol. 2, no 1, pp. 129–138. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Нерадовский Леонид Георгиевич — доктор технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: leoner@mpi.ysn.ru, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 4, pp. 139–148.

L.G. Neradovskiy

INVESTIGATION OF FROZEN SOIL UNDER SCREENING EFFECT OF THE PRIMARY FIELD OF THE HIGH-FREQUENCY VERTICAL MAGNETIC DIPOLE

The actual experimental data on remote induction sounding in the commercial development area between the Lena and Amgin Rivers in the Central Yakutia lowland are discussed in the article. The spatial variability of the harmonic field of the high-frequency vertical magnetic dipole is analyzed. It is proved that screening effect of the uncompensated primary magnetic field is considerably declining in the range of 5–50 m between the emitting and receiving dipoles, and allows investigating influence of frozen soil on measurement of the amplitudes of the vertical and horizontal components of the secondary magnetic field at the frequency of 1.125 MHz. The high capacity of the vertical component of the magnetic field to inform on geology as well as its interference immunity has been confirmed. That is to say, in the intermediate zone of the reduced distance, there exist favorable physical conditions for studying the key cryogenic characteristics of temperature and ice

content of frozen soil in the layer of annual heat-exchange cycles down to a depth of 10–15 m based on the amplitude decay of the vertical component of the magnetic field.

Key words: frozen soil, layer of annual heat-exchange cycles, method of induction, vertical and horizontal components of magnetic field, amplitude decay.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-139-148

AUTHOR

Neradovskiy L.G., Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Melnikov Permafrost Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 677010, Yakutsk, Russia, e-mail: leoner@mpi.ysn.ru.

REFERENCES

1. Aleksandrov P.N. *Teoreticheskie osnovy georadarnogo metoda* (Theoretical foundations of ground penetrating radar), Moscow, Fizmatgiz, 2017, 120 p.
2. Vladov M.L., Pyatilova A.M. *Geofizika*, 2015, no 6, pp. 55–61.
3. Vladov M.L., Kapustin V.V., Pyatilova A.M., Kuvaldin A.V. *Geofizicheskie issledovaniya*. 2017, vol. 18, no 3, pp. 5–16.
4. Igolkin V.I., Shaydurov G.Ya., Tronin O.A., Khokhlov M.F. *Metody i apparatura elektrorazvedki na peremennom toke* (Methods and equipment for AC electrical resistivity surveying), Krasnoyarsk, Izd-vo SFU, 2016, 272 p.
5. Lebedev V.F., Onushchenko V.I., Litvintseva L.M. *Kompleks SEMZ*. Metodicheskoe posobie (SEMZ system. Methodical manual), Krasnoyarsk, Izd-vo NPO «Sibsvetmetavtomatika», 1991, 60 p.
6. Manshteyn A.K. *Maloglubinnaya geofizika*. Posobie po spetskursu (Shallow geophysics. Textbook for special courses), Novosibirsk, 2002, 135 p.
7. Neradovskiy L.G. *Geofizika*. 2017, no 2, pp. 79–87.
8. Neradovskiy L.G. *Nauchno-metodicheskie osnovy izucheniya merzlykh gruntov sloya godovoykh teplooborotov metodami elektromagnitnykh zondirovaniy* (Scientific-methodological basis for applying electromagnetic sounding methods to studies of the permafrost layer of annual temperature variations), Doctor's thesis, Yakutsk, 2016, 378 p.
9. Manshteyn A.K., Balkov E.V. *Patent RU 2502092. MPK8 G01V3/10, 01.08.2011*.
10. Solov'ev P.A. *Kriolitozona severnoy chasti Leno-Amginskogo mezhdurech'ya* (Permafrost in the northern Lena-Amga watershed), Moscow, AN SSSR, 1959, 144 p.
11. Titlin V.S., Zhuravleva R.B. *Tekhnologiya distantsionnykh induktivnykh zondirovaniy* (Technology for remote induction soundings), Ekaterinburg, UIF «Nauka», 1995, 56 p.
12. Bannister P.R. Summary of image theory expressions for the quasi-static fields of antennas at or above the earth's surface. *Proc. IEEE*, Vol. 67, no 7, 1979, pp. 1001–1008.
13. Richard S. Taylor Mapping sites of environmental contamination with a dual-geometry electromagnetic (EM) system. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 2000, pp. 1374–1376.
14. Won I.J., Keiswetter D.A., Fields G.R.A., Sutton L.C. GEM-2: a new multifrequency electromagnetic sensor. *J. Environ. Eng in Geophys*, 1996, vol. 2, no 1, pp. 129–138.

FIGURES

Fig. 1. Relationship between the amplitudes of the vertical (a) and horizontal (b) components of the high-frequency VMD and the distance between the emitting and receiving dipoles along the railway line Berkakit–Tommot–Yakutsk.

Fig. 2. Relationship between the amplitudes of the vertical (a) and horizontal (b) components of the high-frequency VMD and the distance between the emitting and receiving dipoles at the site of Nizhny Bestyakh railway station.

Fig. 3. Cross-plot of spatial dynamics incident to the amplitudes of the vertical and horizontal components of the high-frequency VMD versus the distance between the emitting and receiving dipoles along the railway line Berkakit–Tommot–Yakutsk (left) and at the site of Nizhny Bestyakh railway station (right).

Fig. 4. Gaussian approximation of density distribution of the parameter k with respect to the vertical and horizontal components of the high-frequency VMD along the railway line Berkakit–Tommot–Yakutsk (left) and at the site of Nizhny Bestyakh railway station (right).

TABLES

Table 1. Distance-related increment in the coefficient of variation in the amplitudes of the high-frequency VMD field components in the span of 5 m along the railway line.

Table 2. Distance-related increment in the coefficient of variation in the amplitudes of the high-frequency VMD field components in the span of 5 m at the railway station site.