

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №4, Том 14 / 2022, No 4, Vol 14 <https://esj.today/issue-4-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/13NZVN422.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Нерадовский, Л. Г. Затухание сигнала дистанционного индуктивного зондирования в массиве песчаника Южной Якутии в г. Нерюнгри / Л. Г. Нерадовский // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/13NZVN422.pdf>

For citation:

Neradovsky L.G. Attenuation of remote inductive sensing signal in the sandstone massif of South Yakutia in the city of Neryungri. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(4): 13NZVN422. Available at: <https://esj.today/PDF/13NZVN422.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 550.379

Нерадовский Леонид Георгиевич

ФГБУН «Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова
Сибирского отделения Российской академии наук», Якутск, Россия

Старший научный сотрудник

Доктор технических наук

E-mail: L031950N@ya.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=394470

Затухание сигнала дистанционного индуктивного зондирования в массиве песчаника Южной Якутии в г. Нерюнгри

Аннотация. Впервые методом дистанционного индуктивного зондирования (ДИЗ) с помощью отечественной аппаратуры СЭМЗ на оптимальной частоте 1,125 МГц изучена площадная изменчивость процесса затухания гармонического поля высокочастотного вертикального магнитного диполя (ВВМД) в слое годовых теплооборотов островной криолитозоны Южной Якутии. Методом трендовой аппроксимации по степенной функции определены значения коэффициента затухания модуля амплитуды одной из волновых электрофизических характеристик. Из списка таких характеристик была выбрана наиболее информативная и помехоустойчивая характеристика — вертикальная составляющая эллипса поляризации поля ВВМД (Hz). Фактический материал метода ДИЗ состоит из 218 определений значений коэффициента затухания характеристики Hz на буровых скважинах. Со стороны геологии были определены соответствующие этим значениям средневзвешенные по стволу скважин значения временного предела прочности на одноосное сжатие, образцов грунта. Образцы были отобраны из керна скважин, пробуренных до глубины 15–20 м в преимущественно однородном по составу массиве песчаника. По результатам комплексного статистического анализа выборочной совокупности фактического материала метода ДИЗ и буровых скважин в массиве песчаника, который слагает скально-полускальное основание инженерных сооружений на территории г. Нерюнгри, обнаружена важная для инженерной геологии, грунтоведения и мерзлотоведения петрофизическая закономерность. Она имеет фоновый характер и выражается в росте нормативных (средних) значений коэффициента затухания характеристики Hz при переходе от категории прочного песчаника к категории малопрочного песчаника, разуплотнённого тектоникой и процессами выветривания. Обнаруженная эмпирическая закономерность рассматривается, как благоприятное петрофизическое основание для информационной реабилитации редко применяемого отечественными геофизиками метода ДИЗ с целью детального инженерно-геологического

районирования территории г. Нерюнгри по категории прочности осадочных пород представленных преимущественно массивом однородного по составу песчаника.

Ключевые слова: Южная Якутия; г. Нерюнгри; массив; песчаник; категория прочности; метод дистанционного индуктивного зондирования; частота; поле ВВМД; коэффициент затухания

Введение

В настоящей статье впервые в инженерной геофизике и геофизике криолитозоны рассмотрены результаты исследований методом дистанционного индуктивного зондирования (ДИЗ) процесса затухания гармонического поля высокочастотного вертикального магнитного диполя (ВВМД) в островной криолитозоне Южной Якутии. В области индуктивной геоэлектрики это направление исследований с давних пор обходится стороной, как отечественными, так и зарубежными геофизиками. Они считают его бесперспективным и необоснованным в научном отношении. Автор статьи в очередной раз доказывает неправомерность и ошибочность такого подхода, решив методом ДИЗ новую задачу касательно диагностики по категории прочности грунтового основания инженерных сооружений г. Нерюнгри, опираясь на вероятностные распределения значений коэффициента затухания одной из составляющих эллипса поляризации поля ВВМД.

Район исследований

Город Нерюнгри является административным и промышленным центром Южной Якутии. Он расположен примерно в 800 км на юго-запад от центра Республики Саха (Якутия) г. Якутска. Территория г. Нерюнгри занимает водораздел между реками Чульман, Верхняя Нерюнгри, Малый Беркамит и Амнуннакта с высотными отметками от 636 м (в долине р. Чульман) до 913 м (на водоразделе рек Чульман-Амнуннакта). Для этих форм рельефа характерны мягкие мерзлотные условия с развитием прерывистой островной мерзлоты небольшой мощности (20–50 м) со среднегодовой температурой коренных пород на нижней границе слоя годовых теплооборотов близкой к $0,0^{\circ}\text{C}$ ($0,1-0,5^{\circ}\text{C}$). Естественный режим, сглаженных эрозией водораздельных пространств, зависит от конвективного теплопереноса. Движение тёплого воздуха и воды вдоль поверхности и по глубине массивов коренных пород по тектоническим зонам приводит к уменьшению мощности островной мерзлоты вместе с увеличением мощности слоя годовых теплооборотов. В зимний период движение холодных масс ограничивается образующимся льдом и снегом. Максимальная глубина слоя годовых теплооборотов по разным оценкам достигает 20–30 м.

В геологическом строении рассматриваемый район представлен юго-восточной частью довольно обширной Чульманской впадины тектонического происхождения, которая осложнена наложенной на неё Нерюнгринской синклиналию с интенсивными дислокациями надвигов [1]. В среднем течении р. Чульман и непосредственно на территории г. Нерюнгри указанные структуры выполнены осадочными породами горкитской свиты верхней юры и холодниканской свиты раннего мела. Осадочные породы по литологическому составу сложены песчаниками с линзами конгломератов, алевролитов, аргиллитов и каменных углей. Сверху они покрыты сплошным плащом делювия-элювия четвертичного возраста мощностью 2–3 и редко 10 м. В составе делювия преобладает дресвяно-гравийный обломочный материал с супесчаным заполнителем и редко горным песком ярко красного или оранжевого цвета.

На геологическое строение и формирование криолитозоны Южной Якутии сильное влияние оказал тектонический фактор [2]. В целом, надвиговой зоне вдоль Чульманской впадины свойственно сложное геокриологическое строение. С одной стороны неоднородность, а с другой стороны динамичность мерзлотно-грунтовых условий со значительным различием глубины сезонного оттаивания-промерзания (порядка 3–6 м) и с возможностью неоднократного перехода мёрзлых пород в талое состояние и наоборот.

Мёрзлое основание фундаментов инженерных сооружений г. Нерюнгри хорошо изучено в инженерно-геологическом отношении. В 1973–1979 гг. исследования проводились Якутским отделением Красноярского треста инженерно-строительных изысканий (ЯО КрасТИСИЗ), а в последующие годы Якутским (ЯкутТИСИЗ) и Южно-Якутским (ЮжЯкутТИСИЗ) трестами.

Фактический материал инженерно-геологических изысканий, полученный за длительное время этими организациями, к большому сожалению, остался не только не обобщённым, но и не опубликованным. Тем не менее, имеющиеся разрозненные данные буровых работ (по 218 скважинам), собранные в рабочем порядке в разное время из технических отчётов дают основание сделать некоторые обобщения.

Во-первых, слой делювия-элювия на территории г. Нерюнгри в большинстве случаев имеет мощность 2–3 м.

Во-вторых, литогенная основа коренных пород представлена слабонаклонной толщей песчаника.

В-третьих, коренные породы до глубины 6–7 м разуплотнены процессами физического выветривания до частичного или полного разрушения структурообразующих связей.

В-четвёртых, под выветрелым слоем залегает относительно сохранный и преимущественно однородный по составу массив песчаника с преобладанием блоков средней прочности. Статистика показывает, что эти разновидности скальных грунтов благоприятные для строительства и эксплуатации инженерных сооружений образования встречаются почти в каждой скважине.

Методика работ методом ДИЗ

Измерения с аппаратурой СЭМЗ [3] в варианте дистанционного индуктивного зондирования просты и состоят в следующем. В интересующей точке сети геолого-геофизических наблюдений (топографическом пикете или изыскательской скважине) на геодезической треноге высотой около одного метра неподвижно устанавливается передающая антенна (ПРД) с заданной частотой излучения поля ВВМД. Частота в процессе зондирования не изменяется. От антенны ПРД, начиная с расстояния 5 м, с шагом 2–5 м в ту или иную сторону удаляется приёмная антенна (ПРМ) с измерителем (микровольтметром). В каждой точке местоположения антенны ПРМ на такой же, как и у антенны ПРД высоте измеряется значение модуля амплитуды напряжения вертикальной (H_z)¹ и горизонтальной (H_r) составляющих поля ВВМД. При необходимости изучения вместе с электрическим сопротивлением (далее, сопротивление) и вещественной частью комплексной диэлектрической проницаемости (далее, проницаемость) измеряются остальные составляющие эллипса поляризации магнитного поля (значения большой и малой оси, угол наклона к дневной поверхности большой оси).

¹ Характеристика H_z несёт около 70 % информации об аномальных объектах, расположенных в нижнем полупространстве [4]. Более того, как показывает опыт, она в меньшей степени зависит от влияния поверхностных помех (рельефа, инженерных сооружений и пр.), нежели горизонтальная составляющая поля ВВМД.

Результаты измерений относятся к точке стояния антенны ПРД. Полученная совокупность измерений значений H_z и H_r представляет собой сигналы ДИЗ. По значениям отношения H_z/H_r вычисляют эффективные значения сопротивления (ρ_{ef}) и строят графики изменения этой характеристики в зависимости от расстояния (разноса) между антеннами². Этим привычным результатом обычно довольствуются и ограничиваются отечественные и зарубежные геофизики. Изучением затухания поля вертикального магнитного диполя на низкой и тем более, высокой частоте они не занимаются.

Для определения значений k строят графики значений модуля амплитуд H_z и/или H_r в зависимости от расстояния между антеннами. В подавляющем числе случаев на этих графиках наблюдается монотонное нелинейное уменьшение значений H_z и H_r . Эта эмпирическая закономерность статистически адекватно описывается степенной функцией с высоким коэффициентом множественной детерминации. Показатель степенной функции принимается за количественную оценку значений коэффициента k . Эта оценка в свою очередь, как отмечалось выше, служит интегральной (усреднённой) мерой затухания поля ВВМД в неоднородной и анизотропной геологической среде. В частности, в сфере механического и теплового влияния построенных и эксплуатируемых на ленточном фундаменте инженерных сооружений в г. Нерюнгри на высокотемпературное мёрзлое грунтовое основание в пределах слоя годовых теплооборотов.

Результаты исследований

В сравнении с буровыми работами геофизические работы в г. Нерюнгри были выполнены в меньшей, но всё же достаточной степени для решения задач петрофизики островной криолитозоны Южной Якутии. Научный интерес в этом аспекте представляет фактический материал, полученный в 90-х годах прошлого века методом дистанционного индуктивного зондирования (ДИЗ). Опытно-методические работы этим методом геоэлектрики выполнялись ЯкутГИСИЗ с уникальной по тому времени аппаратурой СЭМЗ. Аппаратура была сконструирована под руководством В.Ф. Лебедева и изготавливалась НПО «Сибцветметавтоматика» (г. Красноярск) для изучения мерзлоты на дражных полигонах россыпных месторождений редких и драгоценных металлов (золота, серебра, платины) в районах Северо-Востока СССР.

Отличительной технической чертой аппаратуры СЭМЗ, являлась возможность быстрого изучения без гальванического контакта с поверхностью Земли эффективных значений электрического сопротивления и диэлектрической проницаемости мёрзлых пород и грунтов на 4-х фиксированных частотах: 0,281-0,562-1,125-2,250 МГц. На таких сравнительно высоких для метода ДИЗ частотах геоэлектрическое строение верхней части островной криолитозоны Южной Якутии изучается до глубины в первые десятки метров.

Ретроспективный анализ материалов опытно-методических работ с аппаратурой СЭМЗ выполнен с позиции рассмотрения ранее неизвестных особенностей изменчивости коэффициента амплитудного ослабления сигналов ДИЗ (k) на частоте 1,125 МГц в относительно сохранной нижней части массиве песчаника разной прочности. Такая направленность научного поиска интересна тем, что даёт возможность по значениям k судить о мере затухания высокочастотного гармонического поля вертикального магнитного диполя (ВВМД) в слое годовых теплооборотов в зависимости от строения, состава, свойств и состояния

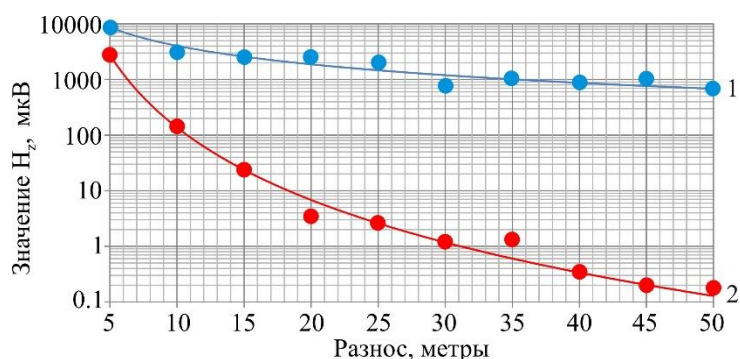
² Графики ρ_{ef} даже без знания проницаемости в целом, дают правильные представления об относительной изменчивости сопротивления мёрзлых пород и грунтов по глубине и латерали геоэлектрического разреза.

мёрзлых пород и грунтов. В конкретном случае, в зависимости от литогенной неоднородности и прочности мёрзлого массива песчаника.

Что касается частоты 1,125 МГц, то её выбор объясняется двумя причинами. Во-первых, в г. Нерюнгри она обеспечивает необходимую глубину изучения слоя годовых теплооборотов до его нижней границы или близко к ней. Во-вторых, как показывает многолетний опыт в криолитозоне Якутии, волновая характеристика k , полученная на частоте 1,125 МГц имеет более высокую по отношению к частотам 0,281 и 0,562 МГц чувствительность к изменению всего внутреннего облика мёрзлой геологической среды [5].

Пример результата определения значений k по характеристике H_z показан на рисунке 1 для двух крайних и редких случаев. В первом случае значение k характеризует массив прочного песчаника, вскрытого до глубины бурения около 20 м одной из 218 изыскательских скважин под слоем делювия-элювия. Во втором случае значение k характеризует в другой скважине массив песчаника, разрушенный тектоническими процессами сжатия и смятия и последующими процессами выветривания до глыбового материала с глинистым заполнителем. Такие малопрочные образования в строительных нормах и правилах (СНиП) образно называют «рухляком».

Из рисунка 1 видно, что в переходной зоне³ с расстоянием между антеннами СЭМЗ равным 5–50 м, которое соответствует эффективной глубине индуктивного зондирования 10–13 м, значения H_z с некоторыми незначительными локальными вариациями монотонно уменьшаются. Однако этот процесс затухания поля ВВМД по глубине в сильной степени зависит от прочности массива песчаника. В категории по ГОСТ⁴ прочного песчаника со средневзвешенным значением предела прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии (R_c) равного 114,6 МПа, сигналы ДИЗ, а значит, и поле ВВМД затухают медленно со значением $k = 1,08 \text{ м}^{-1}$. В «рухляках» со средневзвешенным по глубине значением $R_c = 2,5 \text{ МПа}$ поле ВВМД затухает быстро со значением $k = 4,41 \text{ м}^{-1}$. Относительная разница в изменчивости значений R_c и k составляет 191 и 121 %, т. е. одного порядка.



Классификация категорий временного предела прочности песчаника на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии по ГОСТ 25100-2020: 1 — прочный; 2 — малопрочный («рухляк»)

Рисунок 1. Графики сигналов ДИЗ с результатом аппроксимации степенной функцией значений H_z на частоте 1,125 МГц (составлено автором)

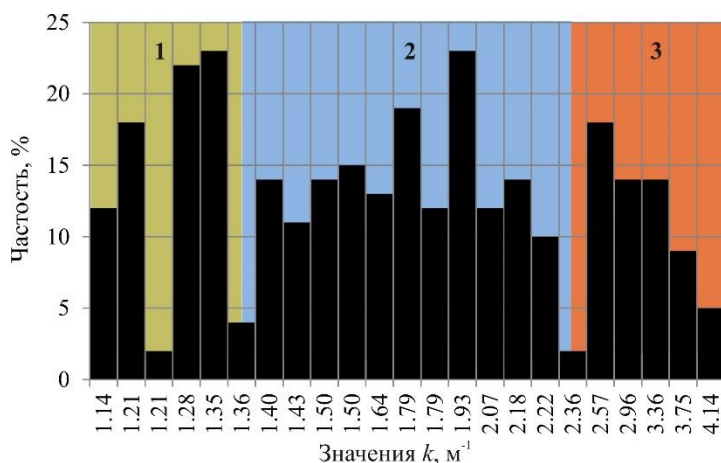
Между минимальным и максимальным значением k (1,08 и 4,41 м⁻¹) вероятностное распределение остальных 216 значений этой волновой динамической электрофизической характеристики на территории г. Нерюнгри имеет мультимодальный характер. Эта важная

³ Вопросы определения границ переходной зоны поля ВВМД и эффективной глубины индуктивного зондирования в зависимости от частоты, разноса, сопротивления и проницаемости нижнего полупространства подробно изложены в работах [6–12].

⁴ ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. — М.: Стандартинформ, 2020. — 38 с.

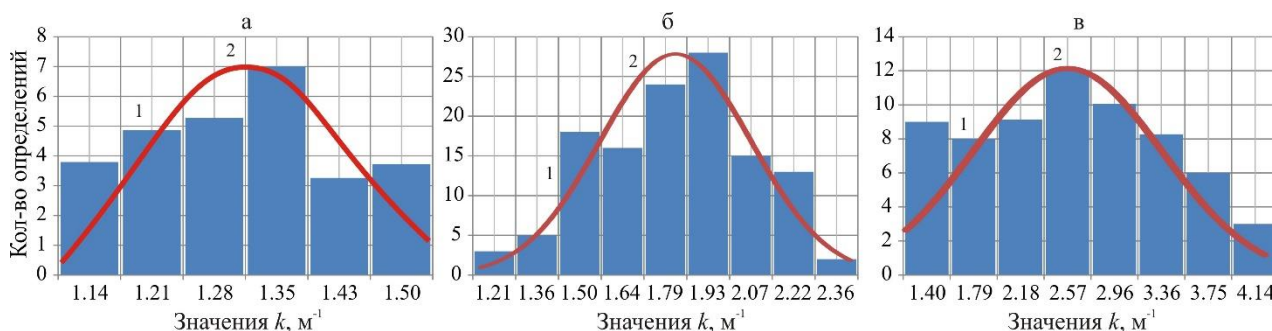
особенность вероятностного распределения выражается на общей гистограмме в виде сложнопостроенной композиции с разными модами средних значений k (рис. 2). Композиция состоит из 3-х обособленных групп с чётко обозначенными границами. В каждой группе по результатам тестовой проверки по трём независимым статистическим критериям (Колмогорова, омега-квадрат, хи-квадрат), сделанной с помощью программы «Стадия» [13], значения k распределены по нормальному вероятностному закону. Гистограммы групповых распределений показаны на рисунке 3, а их описательная статистика представлена в таблице.

Понимание геологической природы групповых распределений значений k пришло после выполнения кластерного анализа. Он выполнялся по нескольким признакам: условным номерам изыскательских скважин и точек ДИЗ, коду категории литогенной однородности и прочности песчаника по средневзвешенному значению R_c , значению k , а также коду вариативности сигналов ДИЗ. По результатам кластерного анализа установлено, что первая группа точек ДИЗ с модой $k = 1,32 \text{ м}^{-1}$ (табл.) принадлежит скважинам, вскрывших массив песчаника со средневзвешенным значением $R_c = 73,9 \text{ МПа}$. Аналогичным образом вторая группа с модой $k = 1,86 \text{ м}^{-1}$ принадлежит массиву песчаника со значением $R_c = 45,3 \text{ МПа}$. Третья группа с модой $k = 2,65 \text{ м}^{-1}$ включает в себя значения $R_c = 12,7 \text{ МПа}$ малопрочного массива песчаника.



Классификация категорий временного предела прочности песчаника на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии по ГОСТ 25100-2020: 1 — прочный; 2 — малопрочный («рухляк»)

Рисунок 2. Сводная гистограмма общего вероятностного распределения значений k массива песчаника на территории г. Нерюнгри (составлено автором)



Вероятностные распределения значений коэффициента затухания сигнала ДИЗ: 1 — фактические гистограммы; 2 — вариограммы теоретических распределений по нормальному закону)

Рисунок 3. Групповые вероятностные распределения значений k по категориям прочности: а–в — прочный; среднепрочный; малопрочный песчаник (составлено автором)

Таблица 1

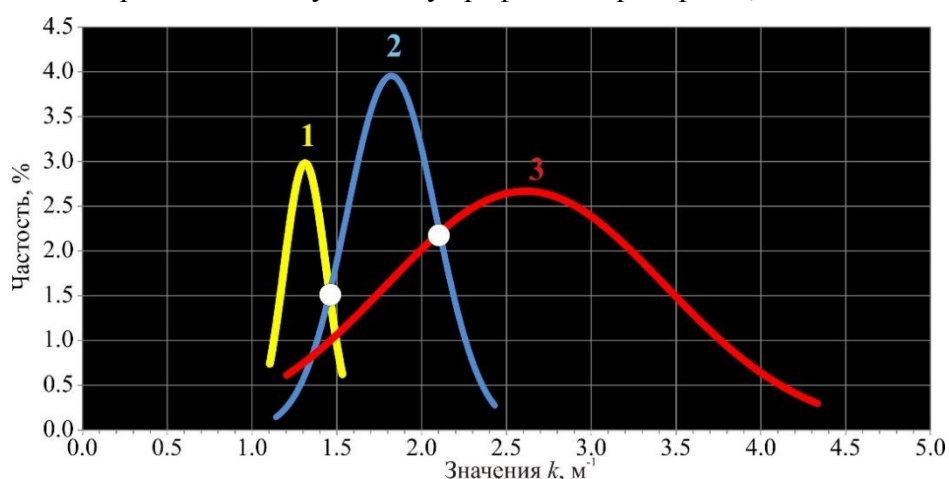
Статистика значений k массива песчаник в г. Нерюнгри

Значение k , м ⁻¹	Номера групп		
	1	2	3
Среднее арифметическое (САР)	1,31	1,82	2,63
Стандартная ошибка САР	0,02	0,02	0,09
Медианное среднее	1,32	1,84	2,58
Модальное среднее	1,32	1,86	2,65
Стандартное отклонение	0,12	0,26	0,79
Коэффициент вариации, %	9,4	14,5	29,9
Минимальное значение	1,08	1,14	1,21
Максимальное значение	1,53	2,43	4,44
Кол-во определений	29	124	65
Уровень доверия САР (95,0 %)	0,05	0,05	0,20

Примечания: 1 — группа прочного песчаника; 2 — группа среднечного песчаника; 3 — группа малочного песчаника (составлено автором)

В общей выборочной совокупности фактического материала, состоящего из 218 парных определений значений R_c и k , самой большой является вторая группа (категория песчаника средней прочности), доля которой равна почти 60 %. С меньшей вероятностью (30 %) встречается третья группа. Это категория малочного песчаника однородного или неоднородного по составу и строению с переслаиванием алевролитов, аргиллитов, углей. Редко встречается на территории г. Нерюнгри первая группа (категория прочного песчаника). Вероятность её встречи 10 %.

Зададимся вопросом, с какой статистической надёжностью решается задача идентификации категории прочности песчаников методом ДИЗ в вероятностном пространстве значений характеристики k ? Для ответа на этот редко обсуждаемый в литературе по геофизике вопрос обратимся к сравнительному анализу графиков вариограмм, показанных на рисунке 4.



Классификация категорий временного предела прочности песчаника на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии по ГОСТ 25100-2020: 1 — прочный; 2 — малочный («рухляк»)

Рисунок 4. Графики вариограмм теоретического вероятностного распределения по нормальному закону значений волновой характеристики k массива песчаника на территории г. Нерюнгри (составлено автором)

Главными на этом рисунке являются 2 узловые точки пересечения графиков вариограмм, по которым определяются ошибки 1-го и 2-го рода [14]. Таких точек две. Первая точка со значением $k = 1,438$ м⁻¹ обозначает границу различия категорий песчаника прочного и средней прочности. Вторая точка графиков вариограмм со значением $k = 2,068$ м⁻¹ обозначает

границу различия категорий песчаника средней и малой прочности. При суммарной вероятности ошибок 1 и 2 рода, равных 21,0 % надёжность статистического различия по значениям k категорий песчаника прочного и средней прочности равна 79,0 %. Существенно ниже надёжность распознавания категорий песчаника средней и малой прочности равная 59,7 %.

При значениях k ниже $2,068 \text{ м}^{-1}$, т. е. в тех случаях, когда пустотные промежутки малопрочного песчаника (полости, трещины) в той или иной степени заполнены льдом, почти в 30 % случаев (ошибка 2-го рода) эти образования невозможно отличить методом ДИЗ от песчаника средней прочности. Напротив, при значениях k более $2,068 \text{ м}^{-1}$ ослабленные по тем или иным причинам части массива песчаника, относящиеся по ГОСТ 25100-2020 к категории средней прочности в 13 % случаев (ошибка 1-го рода) по данным метода ДИЗ неотличимы от малопрочного песчаника. Несмотря на сложную и неоднозначную картину вероятностного распределения единичных значений k массив песчаника в целом, уверенно различается методом ДИЗ по средним показателям (среднеарифметическому, медианному и модальному) категории прочности в соответствии с ГОСТ 25100-2020. Об этом свидетельствуют результаты тестовой проверки, сделанной с помощью программы «Стадия» по критериям сдвига (положения) анализируемых рядов значений k , а также по критериям хи-квадрат, Фишера-Стьюдента, масштаба (рассеяния).

Заключение

Рассмотренные результаты ретроспективного анализа материалов геофизических работ, полученных в 90-х годов прошлого столетия, убеждают в том, что неординарный подход к применению метода ДИЗ с определением средних значений коэффициента k имеет благоприятные петрофизические условия для решения важной типовой задачи проектирования и строительства инженерных сооружений в островной криолитозоне Южной Якутии. А именно, задачи детального инженерно-геологического районирования по кварталам территории г. Нерюнгри в части категории предела прочности мёрзлого скально-полускального основания инженерных сооружений, сложенного преимущественно однородным по составу массивом песчаника. Выборочные оценки средних значений k и R_c^5 , полученные для 3-х категорий прочности песчаника, предлагается рассматривать, как статистически надёжные и достоверные петрофизические реперы для всего массива осадочных коренных пород. С помощью этих оценок в ближайшем или отдалённом будущем будет легче продолжать изучать прямые и обратные вероятностные отношения между характеристикой прочности массива песчаника и характеристикой затухания в этом массиве поля ВВМД в виде уравнений корреляционно-регрессионных зависимостей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Южная Якутия: мерзлотно-геологические и инженерно-геологические условия Алданского горнопромышленного района / под ред. В.А. Кудрявцева. — Москва: Изд-во МГУ, 1975. — 444 с.

⁵ В инженерной геологии и грунтоведении средние значения принято называть нормативными значениями.

2. Булдович С.Н., Мелентьев В.С., Наумов М.С., Фурикевич О.С. Роль новейших разрывных нарушений в формировании мерзлотно-гидрогеологических условий (на примере Нерюнгринской синклинали Южно-Якутского мезозойского прогиба) // Мерзлотные исследования, 1976, вып. XV. С. 120–125.
3. Комплекс среднечастотной аппаратуры электромагнитного зондирования. Техническое описание. Изд-во НПО «Сибцветметавтоматика» СССР. — Красноярск, 1991. — 30 с.
4. Петровский А.А. Радиоволновые методы в подземной геофизике. — М.: «Недра», 1971. — 224 с.
5. Нерадовский Л.Г. Технология электромагнитного зондирования мёрзлых грунтов слоя годовых теплооборотов. — М.: АНО Изд. Дом «Научное обозрение», 2018. — 622 с.
6. Вешев А.В., Любцева Е.Ф., Леончиков В.М., Алексеев В.М. Временное руководство по методу электромагнитного зондирования с вертикальным магнитным диполем. — М.: Изд-во Министерства цветной металлургии СССР, 1978. — 45 с.
7. Журавлёв В.В., Онущенко В.И., Литвинцева Л.М. Комплекс СЭМЗ. Методическое пособие. — Красноярск: Изд-во НПО «Сибцветметавтоматика», 1991. — 60 с.
8. Журавлёва Р.Б., Самоделкина С.А., Бакаев В.П. К выбору интерпретационных параметров при дистанционном зондировании и профилировании с аппаратурой ДЭМП-СЧ // Российский геофизический журнал. — Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 1994. № 2–4. С. 67–70.
9. Иголкин В.И., Шайдуров Г.Я., Тронин О.А., Хохлов М.Ф. Методы и аппаратура электроразведки на переменном токе: научное издание. — Красноярск: Изд-во Сибирского Федерального Университета, 2016. — 272 с.
10. Молочнов Г.В., Радионов М.В. Частотные электромагнитные зондирования с вертикальным магнитным диполем. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. — 217 с.
11. Титлинов В.С., Журавлёва Р.Б. Технология дистанционных индуктивных зондирований. — Екатеринбург: УИФ «Наука», 1995. — 56 с.
12. Нерадовский Л.Г. Опыт применения метода дистанционного индуктивного зондирования в криолитозоне Южной Якутии // Геофизика, 2022, № 2, с. 44–54.
13. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. — 512 с.
14. Никитин А.А. Статистические методы выделения геофизических аномалий. — М.: Недра, 1979. — 280 с.

Neradovsky Leonid Georgievich

Melnikov Permafrost Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

E-mail: L031950N@ya.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=394470

Attenuation of remote inductive sensing signal in the sandstone massif of South Yakutia in the city of Neryungri

Abstract. For the first time, the areal variability of the damping process of the harmonic field of a high-frequency vertical magnetic dipole (HFMD) in the layer of annual heat cycles of the insular permafrost zone of South Yakutia was studied by the method of remote inductive sensing (RDS) with the help of domestic SEMS equipment at an optimal frequency of 1.125 MHz. The values of the attenuation coefficient of the amplitude modulus of one of the wave electrophysical characteristics are determined by the method of trend approximation with respect to the power function. From the list of such characteristics, the most informative and noise-resistant characteristic was chosen — the vertical component of the HPMD field polarization ellipse (Hz). The actual material of the DIZ method consists of 218 determinations of the values of the damping coefficient of the characteristic Hz in boreholes. From the side of geology, the weighted average values for the wellbore values of the temporary uniaxial compressive strength of soil samples corresponding to these values were determined. The samples were taken from the core of wells drilled to a depth of 15–20 m in a mostly homogeneous sandstone massif. According to the results of a comprehensive statistical analysis of a sample of the actual material of the DIZ method and boreholes in the sandstone massif, which forms the rocky-semi-rocky foundation of engineering structures in the city of Neryungri, a petrophysical pattern important for engineering geology, soil science and permafrost science was found. It has a background character and is expressed in the growth of the normative (average) values of the attenuation coefficient of the Hz characteristic during the transition from the category of strong sandstone to the category of low-strength sandstone decompacted by tectonics and weathering processes. The discovered empirical regularity is considered as a favorable petrophysical basis for the informational rehabilitation of the DIZ method, rarely used by domestic geophysicists, for the purpose of detailed engineering-geological zoning of the territory of the city of Neryungri according to the strength category of sedimentary rocks, represented mainly by an array of homogeneous composition of sandstone.

Keywords: South Yakutia; Neryungri; massif; sandstone; strength category; remote inductive sensing method; frequency; HPMD; field; attenuation coefficient