

Статистика удельного электрического сопротивления мерзлых рыхлых отложений и осадочных пород долины реки Лена «Туймаада»

Л.Г. Нерадовский

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия
leoner@mpi.ysn.ru

Аннотация. Представлены результаты статистического анализа значений удельного электрического сопротивления мерзлых рыхлых отложений и осадочных пород левобережной части долины р. Лены в среднем ее течении в застроенной окрестности г. Якутск. Знание вероятностных законов и обобщенных значений удельного электрического сопротивления – одной из базовых электрофизических характеристик мерзлых геологических образований Земли, позволяет быстро, недорого и экологически чисто решать задачи инженерной геологии и криолитологии. А именно, методом вертикального электрического зондирования на постоянном токе без дорогостоящих буровых работ или с минимальным их объемом с заданной доверительной вероятностью и приемлемой ошибкой определять среднюю глубину залегания осадочных пород, слагающих коренное основание долины р. Лена. Это имеет важное значение при производстве проектно-изыскательских работ в ходе продолжающегося освоения территории долины р. Лены.

Ключевые слова: «Туймаада», рыхлые отложения, осадочные породы, буровые работы, вертикальное электрическое зондирование, удельное электрическое сопротивление, средние значения, ошибка.

DOI 10.31242/2618-9712-2019-24-2-4

Statistics of the resistivity of frozen loose sediments and sedimentary rocks in the Tyumaada valley of the Lena river

L.G. Neradovskii

P.I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia,
leoner@mpi.ysn.ru

Abstract. The results of the statistical analysis of the resistivity of frozen loose sediments and sedimentary rocks in the left-bank part of the Lena river valley in its middle reach in the built-up suburbs of Yakutsk are presented. Resistivity is one of the basic characteristics of frozen geological formations on the Earth, and knowledge of the probabilistic laws and generalized values of resistivity allows rapid, inexpensive and environmentally friendly solutions to the problems of engineering geology and cryolithology. In particular, the average depth of the occurrence of sedimentary rocks comprising the basement of the Lena river valley may be determined by means of vertical direct-current sounding without expensive drilling or with its minimal amount, with a required confidence probability and acceptable error. This is essential for the design and survey works during the continuing development of the Lena river valley.

Key words: «Tuymaada», loose sediments, sedimentary rocks, drilling operations, vertical electrical sounding, resistivity, average values, error.

Введение

Изучение геологической среды всегда требует привязки результатов геофизических работ к данным горно-буровых, каротажных и лабораторных работ. Это обусловлено как имманентной природной геологической неоднозначностью геофизических результатов, так и математической некорректностью решения обратных задач геофизики, заключающихся в количественной оценке параметров моделей геологической среды. В этом аспекте в настоящее время рыночных отношений с господством идеологии сиюминутной сверхприбыли особое значение приобретает априорное знание петрофизических параметров моделей, позволяющее в пределах изученного участка или района работ применять методы геофизики без привлечения или с минимальным использованием данных геологических методов. Цель статьи – показать, что при знании обобщенных значений удельного электрического сопротивления (ρ_{Σ}) появляется ценная возможность решать методом электрического зондирования на постоянном токе (ВЭЗ) важную задачу инженерной геологии и геокриолитологии. А именно, без дорогостоящего бурения скважин или при минимальном их количестве с заданной вероятностью и приемлемыми для практики ошибками достоверно оценивать средние значения мощности мерзлой толщи рыхлых отложений (далее – рыхлых отложений) долины р. Лена в окрестности г. Якутск. То есть той толщи, которая используется как грунтовое основание при строительстве инженерных сооружений на висячих свайных фундаментах.

Краткие сведения по району работ

Район работ находится в левобережной части долины р. Лена¹ протяженностью около 70 км между Кангаласским (на севере) и Табагинским мысом (на юге).

Данные по геоморфологическому строению долины «Туймаада», являющейся частью Центрально-Якутской низменности, противоречивы. По схемам В.С. Гриненко и др. [1], построенным на представлениях П.А. Соловьева [2] и принятых к повсеместному научно-практическому употреблению, а также по результатам исследований С.С. Коржуева [3] долина «Туймаада» состоит из вложенных друг в друга речных террас. Это

террасы голоценового возраста низкой и высокой поймы с протоками и старицами и две надпойменные террасы со сложным строением микро рельефа. Первая надпойменная терраса голоценового возраста называется «Якутской», а более высокая вторая терраса голоценового или позднего неоплейстоценового возраста называется «Сергелляхской». Существует также точка зрения о существовании не имеющей названия еще более высокой третьей надпойменной террасы неоплейстоценового возраста, возвышающейся над меженным урезом воды р. Лена на 18–22 м [4]. В современных представлениях В.В. Спектора и др. [5], построенных на детальных исследованиях стратиграфии аллювиальных отложений, долина «Туймаада» представлена одной надпойменной террасой дриас-голоценового возраста с разными абсолютными отметками денудационно-аккумулятивной поверхности. Несмотря на разные геоморфологические представления, мощность аллювиальных и озерно-болотных отложений² в целом закономерно возрастает от русла долины р. Лена к выходу на дневную поверхность ее коренного основания (осадочных пород юрского возраста – песчаников, алевролитов). Этот выход наблюдается в виде уступа эрозионной поверхности Приленского плато (Мыранновой гряды) высотой 100–120 м над долиной «Туймаада» [6].

В наиболее изученной части долины «Туймаада» (окрестности г. Якутск), высотные отметки рельефа поймы в среднем равны 88,3 м при вариациях 85,6–92,2 м. Высотные отметки рельефа надпойменной Якутской и Сергелляхской террас изменяются в диапазоне 92,8–100,4 м при среднем значении 96,3 м.

Осадочные породы в пойме и на надпойменных террасах преимущественно залегают на глубине 12,4–14,5 и 16,2–22,7 м.

По данным ртутных термометров и полупроводниковых датчиков, применяемых в методе скважинной термометрии, температура рыхлых отложений долины «Туймаада» в нижней части слоя годовых теплооборотов на глубине 10–15 м изменялась от –1,4 до –7,2 °С (на участках старой застройки г. Якутск) при среднем значении

¹ Местное якутское население издревле называет эту часть долины р. Лена «Туймаада».

² Их общий разрез сверху вниз закономерно меняется по литологии от глинистых разностей (суглинков и супесей) на песчаные разности (пески пылеватые, мелкие, средние, крупные). Ниже, на границе с осадочными породами, расположен маркерный горизонт крупнообломочных разностей (гравия и гальки).

–3,4 °С. При такой температуре отложения в целом находились в прочном твердомерзлом состоянии.

Методы и материал исследований

Материал исследований носит петрофизический характер и представлен значениями УЭС нельдистых рыхлых отложений с преимущественно массивной криогенной текстурой и залегающих под ними осадочных пород коренного основания долины «Туймаада». Значения УЭС определены методом ВЭЗ в 484 точках бурения инженерно-геологических скважин¹ при производстве геолого-геофизических работ, выполненных в 70–90-х годах прошлого века Якутским трестом инженерно-строительных изысканий на проектируемых и эксплуатируемых площадках и трассах линейных сооружений промышленного, гражданского и сельскохозяйственного назначения в долине «Туймаада».

Работы методом ВЭЗ выполнялись симметричной 4-электродной установкой Шлюмберже с длиной питающей линии от 0,6–3,2 до 440–940 м и двух приемных линий 0,2 и 6,0 м. Методика работ изложена в РСН 43-74 [7] и инструкции по применению методов электроразведки в поисково-разведочной геологии [8]. Измерение напряжения и силы электрического постоянного тока в приемной и питающей цепи установки ВЭЗ выполнялось прибором АЭ-72². Источником постоянного тока служил комплект из четырех последовательно соединенных сухих анодных батарей «АМЦГ-У-160».

Значения УЭС рыхлых отложений и осадочных пород определялись по кривым ВЭЗ³ графическим способом с использованием трех слойных и вспомогательных палеток А.М. Пылаева [9] и привязывались, в соответствии с принципом эквивалентности поперечной или продольной электропроводности слоев геоэлектрического разреза,

к данным бурения скважин (глубине залегания осадочных пород).

Изучение вероятностной структуры и статистик УЭС выполнялось комплексом методов математической статистики с помощью программ «Microsoft Excel» и «Stadia» [10].

Результаты статистического анализа

В ходе анализа решались три задачи: 1) проверка гипотез распределений значений УЭС рыхлых отложений и осадочных пород по теоретическому нормальному закону; 2) вычисление описательных статистик значений УЭС; 3) изучение корреляции значений УЭС рыхлых отложений и осадочных пород. Дополнительно изучались ошибки определения глубины залегания осадочных пород по средним значениям УЭС рыхлых отложений.

Рассмотрим по порядку результаты решения обозначенных задач.

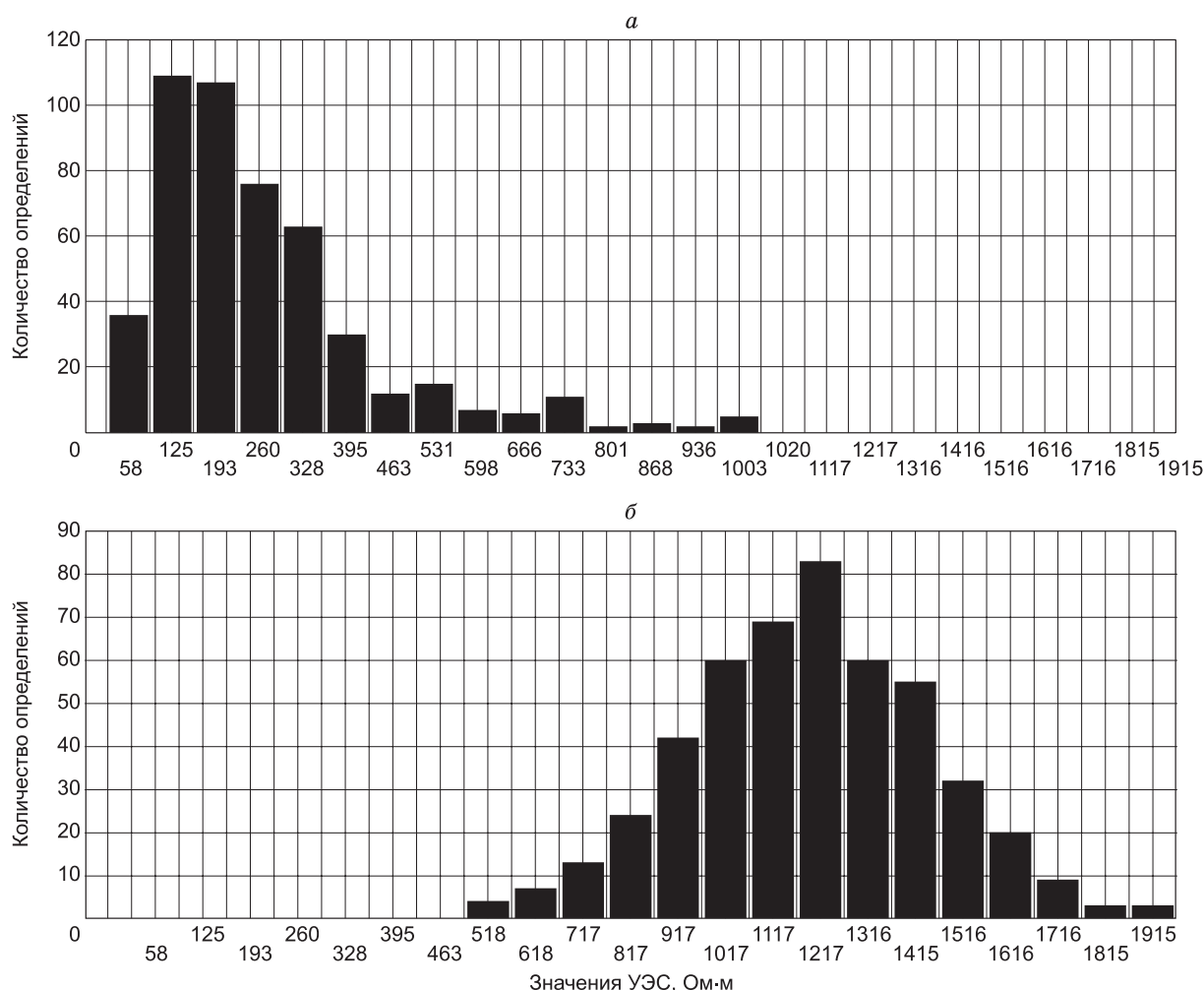
Проверка гипотез выполнялась по критериям Колмогорова, омега-квадрат, хи-квадрат. По этим критериям результат проверки оказался одинаковым. А именно, значения УЭС нельдистых рыхлых отложений с массивной криогенной текстурой распределены по нормальному (гауссовому) закону, а распределение значений УЭС осадочных пород этому закону не подчиняется. Получается, что нормальный закон равновероятностного случайного распределения значений УЭС не расчлененных по литологии и гранулометрическому составу рыхлых отложений наследует результат сложнейших в своей пространственной динамике и длительном по геологическим меркам времени процессов осадконакопления, промерзания и экзогенного метаморфизма, происходивших в долине «Туймаада» под воздействием множества непредсказуемых природных факторов.

Разумеется, и осадочные породы, слагающие коренное основание долины «Туймаада», прошли сложный и еще более длительный путь своей непростой истории в формировании геологического строения и криогенного состояния под воздействием эндогенных, тектонических, метаморфических, геохимических, гидрологических и криогенных процессов. Тем не менее, признак неравновероятного распределения УЭС со сдвигом в сторону низких значений указывает на тенденцию или пространственную закономерность в строении консолидированных осадочных пород. Закономерность состоит в том, что в

¹ Не всех скважин, количество которых исчисляется тысячами, а только тех немногих скважин, которые вскрыли коренное основание долины «Туймаада».

² В прошлом веке этот прибор вместе с прибором ЭСК-1 был чуть ли не единственным в трестах инженерно-строительных изысканий НПО «Стройизыскания» Госстроя РСФСР простым и эффективным по геолого-экономическим показателям техническим средством измерения электрического поля на постоянном токе.

³ Совокупность значений кажущегося электрического сопротивления геоэлектрического разреза долины «Туймаада» в зависимости от половины длины (полуразноса) питающей и приемной линий установки ВЭЗ.



Гистограммы распределения 484 значений УЭС мёрзлой толщи рыхлых отложений (а) и осадочных пород (б) коренного основания долины «Туймаада».

The histograms of the distribution of 484 values of the electrical resistivity of the frozen stratum of loose sediments (а) and sedimentary rocks (б) of the bedrock of the «Tuymaada» valley.

долине «Туймаада» в пределах глубины изучения методом ВЭЗ (до 150 м) более распространены псаммиты – песчаные разности (песчаник, алевролит, реже, мергель), нежели пелиты – глинистые разности осадочных пород (собственно глины, алевроиты) и в незначительной мере органогенные породы (известняк, доломит). Отмеченные особенности вероятностного распределения значений УЭС рыхлых отложений и осадочных пород долины «Туймаада» со всей очевидностью иллюстрируются гистограммами (см. рисунок), построенными по выборочной совокупности фактического материала работ методом ВЭЗ.

Обратим внимание на особенности гистограмм, имеющие значение для понимания геологической природы значений УЭС. Относительно низкие значения УЭС рыхлых отложений не пре-

вышающие 900 Ом·м и составляющие 13,2 % от общего количества определений (см. рисунок, б), по результатам сопоставления с инженерно-геологическим разрезом изыскательских скважин соответствует глинистым разностям в виде суглинков, супесей и пылеватых песков, в разной мере засоленных легкорастворимыми солями. Относительно высокие значения УЭС рыхлых отложений, превышающие 1600 Ом·м и составляющие незначительную долю (4,5 %) от общего количества определений (см. рисунок, б), по тем же геологическим данным соответствуют чисто песчаным разностям в виде мелко-средне-крупнозернистых и, реже, крупных песков. Маломощный маркерный слой крупнообломочных отложений (гравия и гальки), расположенный на границе с осадочными породами, практически не оказывает

влияние на суммарное значение УЭС дисперсных отложений (глинистых и песчаных разностей).

В 82,2 % случаев среднее арифметическое значение УЭС нельдистых рыхлых отложений с массивной криогенной текстурой с вероятностью 95 % занимает доверительный интервал 1213–1248 Ом·м. С округлением получаем обобщенную оценку УЭС около 1200 Ом·м, которую рекомендуется применять для определения средней глубины залегания осадочных пород в долине «Туймаада». Так как значения УЭС осадочных пород распределены не по нормальному теоретическому закону, то пользоваться в качестве обобщенной статистической оценки средним арифметическим нельзя. В таких случаях используются непараметрические оценки среднего – медиана или мода с максимальным числом встречающихся значений (максимум гистограммы). В 74,8 % случаев их значения для псаммитов статистически не отличимы и равны 217 и 214 Ом·м.

Важно отметить, что рыхлые отложения и псаммиты осадочных пород долины «Туймаада» по порядку средних значений УЭС близки к мерзлым аллювиальным отложениям Центрально-Якутской низменности (УЭС = 1200–2700 Ом·м) [11, с. 25] и псаммитам осадочных пород Южной Якутии (УЭС = 100 Ом·м) [12, с. 14]. В этой близости полученная статистика по УЭС не только усиливается в своей объективности, но и приобретает более устойчивый характер региональной петрофизической закономерности.

Описательная статистика значений УЭС, полученная по всей совокупности фактического материала из 484 определений в точках скважин, представлена в таблице.

Из таблицы следует, что стохастическое поведение в долине «Туймаада» УЭС рыхлых отложений, оцененное по коэффициенту вариации, существенно менее изменчиво, нежели осадочных пород. При этом между значениями УЭС рыхлых отложений и осадочных пород нет корреляции. Все вместе взятое, включая разные вероятностные законы распределений значений УЭС, еще раз говорит о том, что формирование мерзлой толщи осадочных пород и перекрывающих их рыхлых отложений происходило по своим законам, не имеющим между собой никакой причинно-следственной связи.

В 84,7 % случаев УЭС рыхлых отложений выше УЭС осадочных пород в 2–13 раз со средним значением 5–6. При таком соотношении

Статистика УЭС долины «Туймаада»

Statistics of electrical resistivity of «Tuymaada» valley

Показатель	1	2
Среднее арифметическое значение (AP)	1194	268
Стандартная ошибка AP значения	12,0	8,0
Среднее медианное значение	1201	217
Среднее модальное значение	887	214
Стандартное отклонение	254	182
Коэффициент вариации, %	21,3	67,8
Минимальное значение	468	24
Максимальное значение	1965	1037
Количество определений (по скважинам)	484	484
Доверие AP значения на уровне 95 %	23,0	16,0

Примечание: 1 и 2 – УЭС рыхлых отложений и осадочных пород соответственно, Ом·м.

Note. 1 and 2 represents electrical resistivity of loose sediment and sedimentary rocks in ohmmeters.

обобщенный геоэлектрический разрез долины «Туймаада» относится к типу «К», который благоприятен с точки зрения более точной количественной интерпретации кривых ВЭЗ. Такой разрез состоит из трех слоев: 1) слой с минимальными значениями УЭС – глинистые разности (суглинки, супеси) сезонно-талого слоя; 2) слой с максимальными значениями УЭС – не расчлененные по составу мерзлые глинисто-песчаные разности (супеси, пески разной зернистости, гравий и галька); 3) слой с пониженными значениями УЭС – мерзлые осадочные породы.

Посмотрим, с какой ошибкой будет определяться по этому разрезу глубина залегания коренного основания долины «Туймаада» с применением современных технологий компьютерной цифровой обработки данных метода ВЭЗ, опираясь на знание обобщенных значений УЭС рыхлых отложений и осадочных пород, равных 1200 и 200 Ом·м. Эти значения позволяют при заданной вероятности 95 % определять глубину залегания осадочных пород со средней абсолютной и относительной ошибкой $2,6 \pm 0,7$ м и 14,8 %.

В 70 % случаев¹ разброс частных абсолютных и относительных ошибок заключен в интервале 1,1–3,5 м и 3,2–24,1 %. Такая погрешность

¹ Уровень доверительной вероятности, принятый в геологии для наземных методов геофизики.

приемлема для изучения мощности рыхлых отложений в застраиваемой долине «Туймаада» методом ВЭЗ. Примечательно, что и в совершенно иных геоэлектрических условиях, например на Северо-Востоке России, средние относительные ошибки определения по данным метода ВЭЗ глубины залегания коренного основания речных долин мало чем отличаются от аналогичных ошибок в долине «Туймаада», изменяясь от 6,4 до 20,9 % и чаще всего составляя 12,3 % [13, с. 196–197].

Заключение

Результаты статистического анализа данных метода ВЭЗ говорят о разных вероятностных законах и основных статистиках распределения значений УЭС мерзлой толщи рыхлых отложений и осадочных пород в долине «Туймаада» в среднем течении р. Лена. При необходимости обобщенные средние значения УЭС толщи мерзлых рыхлых отложений, которая используется в качестве грунтового основания фундаментов инженерных сооружений, могут быть использованы для быстрого определения ее средней мощности методом ВЭЗ без проведения или при минимальном объеме дорогостоящих, трудно организуемых и зачастую вредных для экологии окружающей среды буровых работ. Такой подход эффективен по геолого-экономическим параметрам при решении инженерно-геологических задач промышленно-гражданского и сельскохозяйственного строительства в ходе продолжения освоения долины «Туймаада». С позиции теории природно-технических систем обобщенные значения УЭС важны тем, что описывают частную реакцию геологических образований долины «Туймаада» на искусственное возбуждение с поверхности Земли электрическим полем постоянного тока. Знание этой реакции в условиях действия наложенных на климатические факторы техногенных и антропогенных факторов обеспечивает правильный взгляд на строение геоэлектрического разреза и уточняет его обобщенную физико-геокриологическую модель застраиваемой территории долины «Туймаада».

Литература

1. *Гриненко В.С., Камалетдинов В.А., Щербаков О.И.* Геологическая карта Якутии. Масштаб 1 : 500 000. Центрально-Якутский блок. СПб.: ВСЕГЕИ, 1993.
2. *Соловьев П.А.* Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 144 с.

3. *Коржуев С.С.* Геоморфология долины средней Лены и прилегающих районов. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1959. 151 с.

4. *Гриненко В.С., Камалетдинов В.А., Сластенов Ю.Л., Щербаков О.И.* Геологическое строение Большого Якутска // Региональная геология Якутии. Якутск: Изд-во Якутского гос. ун-та, 1995. С. 3–20.

5. *Спектор В.В., Бакулина Н.Т., Спектор В.В.* Рельеф и возраст аллювиального покрова долины р. Лены на «Якутском разбое» // Геоморфология. 2008. № 1. С. 87–94.

6. *Петров С.Б., Безрук Л.Н.* Отчет по изучению, детальному картированию и прогнозированию развития экзогенных геологических процессов на территории Большого Якутска в 1983–1985 гг. Т. I (текст отчета) / ПГО «Якутскгеология», инв. № 6848. 223 с.

7. *Инструкция по применению электроразведки при инженерных изысканиях в строительстве.* Постоянный ток и естественное поле. Республиканские строительные нормы. РСН 43-74. М.: Изд-во Госстроя РСФСР, 1975. 120 с.

8. *Инструкция по электроразведке* / под ред. Г.С. Франтова. Л.: Недра, 1984. – 534 с.

9. *Пылаев А.М.* Руководство по интерпретации вертикальных электрических зондирований. Изд. 2-е, испр. М.: Недра, 1968. 148 с.

10. *Кулаичев А.П.* Методы и средства комплексного анализа данных. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во ФОРУМ; ИНФРА-М, 2006. 512 с.

11. *Мельчинов В.П., Башкуев Ю.Б., Анггархаева Л.Х., Буянова Д.Г.* Электрические свойства криолитозоны Востока России в радиодиапазоне. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2006. 258 с.

12. *Гриб Н.Н., Самохин А.В.* Физико-механические свойства углевмещающих пород Южно-Якутского бассейна. Новосибирск: Наука, 1999. 240 с.

13. *Якупов В.С.* Исследование мерзлых толщ методами геофизики. Якутск: Изд-во ЯФ СО РАН, 2000. 336 с.

References

1. *Grinenko V.S., Kamaletdinov V.A., Shcherbakov O.I.* Geologicheskaya karta Yakutii. Masshtab 1 : 500 000. Tsentralno-Yakutskiy blok, St. Petersburg, 1993.
2. *Solovyev P.A.* Kriolitizona severnoy chasti Leno-Amginskogo mezhdurechia. M.: Izd-vo AN SSSR, 1959. 144 p.
3. *Korzhuiev S.S.* Geomorfologiya doliny sredney Leny i prilgayushchikh rayonov. M.: Izdatelstvo Akademii nauk SSSR, 1959. 151 p.
4. *Grinenko V.S., Kamaletdinov V.A., Slastenov Yu.L., Shcherbakov O.I.* Geologicheskoye stroyeniye Bolshogo Yakutska // Regionalnaya geologiya Yakutii. Yakutsk, Izd-vo Yakutskogo gos. un-ta, 1995. P. 3–20.
5. *Spektor V.V., Bakulina N.T., Spektor V.B.* Geomorfologiya. 2008. N 1. P. 87–94.
7. *Instruktsiya po primeneniyu elektrorazvedki pri inzhenernykh izyskaniyakh v stroitelstve.* Postoyanny tok i

estestvennoye pole. Respublikanskiye stroitelnyye normy. RSN 43-74. M.: Izd-vo Gosstroya RSFSR, 1975. 120 p.

6. Petrov S.B., Bezruk L.N. Otchet po izucheniyu, detalnomu kartirovaniyu i prognozirovaniyu razvitiya ekzogennykh geologicheskikh protsessov na territorii Bolshogo Yakutska v 1983-1985 gg. T. I. Tekst otcheta. Yakutsk, PGO Yakutskgeologiya, inv. № 6848, 223 p.

8. *Instruktsiya po elektrorazvedke* / Ed. G.S. Frantov. Le.: Izd-vo Nedra, 1984. 534 p.

9. Pylyayev A.M. Rukovodstvo po interpretatsii vertikalnykh elektricheskikh zondirovaniy. Izd. vtoroye, isprav. M.: Izd-vo Nedra, 1968. 148 p.

10. Kulaichev A.P. Metody i sredstva kompleksnogo analiza dannykh, 4-e izd. M.: Izd-vo FORUM; INFRA-M, 2006. 512 p.

11. Melchinov V.P., Bashkuyev Yu.B., Angarkhayeva L.Kh., Buyanova D.G. Elektricheskiye svoystva kriolitozony Vostoka Rossii v radiodapazone. Ulan Ude: Izd-vo BNTs SO RAN, 2006. 258 p.

12. Grib N.N., Samokhin A.V. Fiziko-mekhanicheskiye svoystva uglevmeshchayushchikh porod Yuzhno-Yakutskogo basseyna, Novosibirsk, Nauka, 1999, 240 p.

13. Yakupov V.S. Issledovaniye merzlykh tolshch metodami geofiziki. Yakutsk: Izd-vo YaF SO RAN, 2000. 336 p.

Поступила в редакцию 27.05.2019

Принята к публикации 21.06.2019

Об авторе

НЕРАДОВСКИЙ Леонид Георгиевич – доктор технических наук, старший научный сотрудник лаборатории инженерной геокриологии, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, leoner@mpi.ysn.ru, L031950N@yandex.ru

About author

NERADOVSKII Leonid Georgievich, Doctor of Technical Sciences, Senior Reseacher, P.I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36 Merzlotnaya str., Yakutsk, 677010, Russia, leoner@mpi.ysn.ru

Информация для цитирования

Нерадовский Л.Г. Статистика удельного электрического сопротивления мерзлых рыхлых отложений и осадочных пород долины реки Лены «Туймаада» // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019, том 27, № 2. С. 49–55. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-4>

Citation

Neradovskii L.G. Statistics of the resistivity of frozen loose sediments and sedimentary rocks in the Tyumaada valley of the Lena river // Arctic and Subarctic natural resources. 2019, vol. 24, No. 2. pp. 49–55. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-2-4>