

## ОБ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

При составлении прогнозной карты геоэлектрических разрезов масштаба 1:2 500 000 было установлено и экспериментально доказано, что горизонты с низким электрическим сопротивлением (30–200 Ом·м) являются не аномальными участками, а имеют широкое площадное распространение в зоне криолитогеоза. Это позволило использовать радиоэлектроманнитные методы в удаленных и слабоизученных районах, в частности на п-ве Челюскин, с целью определения мощности рыхлых отложений. Вариации напряженности радиополя в средних широтах объясняются температурной зависимостью электропроводности древесины, что требует введения при геофизических исследованиях в зимний период температурных поправок к измеренным значениям напряженности радиополя.

**Ключевые слова:** электропроводность; многолетняя мерзлота; криопэги; электроразведка; вариации электромагнитного поля.

В связи с тем что для территории СССР отсутствовала информация об электрических свойствах горных пород (единственным картографическим источником об этих свойствах являлась Карта электрического районирования мира масштаба 1:10 000 000 североамериканского исследователя Моргана), в 1986 г. под общим руководством Г.И. Макарова и главного конструктора проекта А.А. Штейнберга (ОКТБ «Радиофизика» при Ленинградском госуниверситете) составлена прогнозная карта геоэлектрических разрезов СССР масштаба 1:2 500 000 [1–3].

Непосредственно в создании прогнозной карты геоэлектрических разрезов (ГЭР) на территории Сибири, Таймыра и ряда других регионов принимали участие и авторы – сотрудники Томского государственного университета.

Следует отметить, что изучение электропроводности горных пород необходимо многим ведомствам Российской Федерации для решения своих специфических задач: Министерству природных ресурсов – для поисков месторождений полезных ископаемых, Министерству связи и массовых коммуникаций – для выявления мест расположения новых радиопередающих центров, Министерству энергетики и Министерству экономического развития – для выбора оптимального варианта прокладки трасс нефтегазопроводов и линий электропередач, Министерству обороны – для решения задач раннего и дальнего обнаружения целей и организации связей с рядом спецобъектов и т.д.

Принимая во внимание, что электропроводность подстилающей для электромагнитных волн поверхности подвержена сезонным изменениям, параллельно нами решались задачи по изучению вариаций электрических свойств горных пород и древесной растительности во времени.

Для этого были организованы стационарные наблюдения за электропроводностью пород методами вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и радиоэлектроманнитного зондирования (РЭМЗ), древесины – методом симметричного электропрофилеирования (СЭП) и напряженностью радиополя в диапазоне частот 100–1000 кГц. Одновременно проводились измерения температуры воздуха и почвы.

Заверочные работы методами ВЭЗ, РЭМЗ проведены на п-ве Челюскин (1986, 1988 гг.), в районе г. Гурьевск Кемеровской области (1989 г.), в г. Норильске (1990 г.), по трассам Норильск – Хатанга (1988 г.) и Свердловск – Камышлов (1989 г.).

При этом основное внимание уделялось интегральному методу радиокомпарирования трасс, позволяющему за короткое время исследовать значительные территории (табл. 1). Данный метод выполнялся тремя модификациями: автомобильной (юг Западной Сибири), авиационно-десантной (Таймырский полуостров) и, благодаря разработкам А.А. Штейнберга, авиационной. Последняя позволяла вести непрерывную регистрацию напряженности радиополя в полете (юг и север Западной Сибири, Восточная Сибирь и Северо-Восток РФ). Измерения напряженности земной волны проводились от 16 излучателей СВ-ДВ диапазона (160–1000 кГц). Перед началом измерений в дальней зоне для каждой радиоантенны определялись диаграммы направленности излучателя и значения  $E_0 \times R_0$  в ближней зоне (где  $E_0$  – напряженность радиополя в точке наблюдения,  $R_0$  – измеренное расстояние от излучателя до точки наблюдения) [4]. В процессе измерений рассчитывались абсолютные значения напряженности радиополя, для чего к измеренным величинам прибавлялись поправочные коэффициенты. Протяженность отдельных трасс составляет от 100 до 1 130 км; суммарная протяженность 36 трасс радиокомпарирования превышает 15 000 км. Количество регистрируемых частот на одной трассе изменялось от 1 до 5 в зависимости от местоположения трассы, что позволило получить в общей сложности 94 кривых изменения модуля функции ослабления от расстояния. Для определения точности работ дополнительно проводились контрольные измерения по 16 трассам, что составило 44% контроля. Погрешность измерений находилась в пределах от 5 до 15% [5, 6].

Для изучения сезонных изменений модуля функции ослабления работы методом радиокомпарирования на одной и той же трассе выполнялись дважды – в летний и зимний периоды. Такие наблюдения выполнены на трассе Новосибирск – Тегульдэт, характеризующейся наличием лесной растительности и сезонномерзлого слоя, и на трассе Норильск – Тазовский в зоне развития многолетнемерзлых горных пород, где растительный покров почти отсутствует и имеется сезонноталый слой.

Вариации напряженности радиополя изучались от радиостанций Новосибирского радиопередающего центра (РПЦ) – 171, 270, 576 и 675 кГц, Красноярского РПЦ (218 кГц), Горно-Алтайского РПЦ (281 кГц), Норильского РПЦ (162 и 612 кГц) и на некоторых других частотах. Для изучения вариаций модуля функции ослабления радиоволн параллельно с измерениями в дальней зоне (г. Томск) проводились наблюдения за

напряженностью радиополя в ближней зоне радиостанций 171, 576 и 675 кГц. Синхронно с амплитудой радиополя измерялись температуры воздуха и почвы, а также электропроводность верхней части геоэлектрического разреза методами ВЭЗ и РЭМЗ [13]. В период с

апреля 1989 г. по июнь 1990 г. при помощи стационарной установки симметричного электропрофилирования проводились измерения вариаций электропроводности древесины в температурном интервале от – 27 до + 27 градусов по Цельсию [12, 13].

Т а б л и ц а 1

Перечень трасс, исследованных методом радиокомпарирования в период с 1986 по 1990 г.

Радиопередающий центр	Трасса	Протяженность трассы, км	Частоты, кГц
Новосибирск	Новосибирск – Красноярск	640	171, 272 (270), 576, 289
	Новосибирск – Колпашево	320	
	Новосибирск – Омск	660	
	Новосибирск – Горно-Алтайск	425	
	Новосибирск – Барнаул – Алма-Ата	640	
	Новосибирск – Таштагол	400	
	Новосибирск – Камень-на-Оби – Павлодар	560	
	Новосибирск – Барнаул – Павлодар	560	
Омск	Новосибирск – Тегульдэт	500	639
	Омск – Павлодар	440	
	Омск – Челябинск – Свердловск	790	
	Омск – Тюмень – Свердловск	790	
Свердловск	Омск – Новосибирск	660	281
	Свердловск – Челябинск – Омск	790	
	Свердловск – Караганда	1130	
	Свердловск – Камышлов	100	
	Свердловск – Кокчетав	790	
Норильск	Свердловск – Тюмень – Тобольск – Демьянское	610	162, 612
	Норильск – Диксон	395	
	Норильск – Тазовский, Норильск – Хатанга	400 630	
Сургут	Сургут – Надым	480	225, 594
	Сургут – Игрим	480	
	Сургут – Тарко-Сале	250	
	Сургут – Юильск	400	
Красноярск	Красноярск – Новосибирск	640	216
	Красноярск – Канск – Братск	640	
Братск	Братск – Красноярск	640	699
	Братск – Киренск	420	
Якутск	Якутск – Витим	804	171, 549
	Якутск – Средне-Вилойск	395	
	Якутск – Хандыга	365	
	Якутск – Жиганск	560	
	Якутск – Усть-Мая – Охотск	552	
Магадан	Магадан – Охотск	520	234
	Магадан – Омсукчан	410	
	Магадан – Сеймчан	370	
Анадырь	Анадырь – Марково	225	693

Полученный материал использовался для уточнения ранее составленной прогнозной карты ГЭР масштаба 1:2 500 000 для территории Западной Сибири и Таймырского полуострова на глубину скин-слоя частоты 10 кГц. В ходе составления и уточнения данной карты выявлено и экспериментально доказано широкое распространение в зоне развития многолетне-мерзлых горных пород низкоомных образований, в результате чего подстилающая поверхность для определенных частот в таких местах приобретает не емкостную, а индуктивную электропроводность [14, 15]. Наличие низкоомного слоя позволило использовать метод РЭМЗ (РЭМП) (по другой классификации – метод СДВР) в высоких широтах для определения мощности рыхлых отложений при поисках россыпных месторождений полезных ископаемых (рис. 1) [16].

Накопленный экспериментальный материал вариаций напряженности радиополя и вариаций электропро-

водности древесины (как лиственной, так и хвойной) лег в основу решения задачи так называемой зимней аномалии распространения средневолновых радиоволн в средних широтах.

Более ранними исследованиями установлена сезонная зависимость дневных значений напряженности поля СВ радиостанций [17]. В то же время нередко отмечались случаи, когда в зимнее время напряженность радиополя характеризовалась «летними» значениями, что не имело на тот момент времени своего обоснования. Такое поведение напряженности радиополя объясняется температурной зависимостью электропроводности древесины [14, 18–21], что требует введения при проведении геофизических исследований в зимний период температурных поправок к измеренным значениям напряженности радиополя.

Следует отметить, что при изучении условий распространения радиоволн в европейской части РФ и на

юге Западной Сибири успешно использовались данные локальных параметров электромагнитных свойств (ЭМС), так как они имеют примерно равные значения с интегральными параметрами. Исключения составляют горные (Урал, Алтай) и северные районы европейской части РФ. Территория севера Западной Сибири, вся Восточная Сибирь, Якутия, Северо-Восток РФ и большей частью Дальний Восток РФ характеризуются широким развитием многолетнемерзлых горных пород и, соответственно, другими значениями ЭМС в отличие от талых. (Под термином «многолетнемерзлые горные породы» понимаются отложения, имеющие отрицательную по Цельсию температуру и содержащие воду как в твердой, так и в жидкой фазе. Последние носят название «криопэги».)

Считалось, что электропроводность мерзлых рыхлых пород на порядок отличается от талых, достигая значений 10–7 см/м (табл. 2). Авторы работ [7–11] не учитывали влияния минерализации на электропроводность рыхлых отложений. В то же время засоленные мерзлые рыхлые отложения широко распространены вдоль всего Арктического побережья. Только на севере Западной Сибири они занимают площадь около 1 млн км<sup>2</sup>. Минерализация охватывает криогенную толщу на всю ее мощность до 300 и более метров, имея различное геологическое происхождение. Засоленные мерзлые отложения, отличаясь повышенным содержанием воды, представляют собой сложную криогенную систему криолитозоны, занимая промежуточное положение между мерзлыми и немерзлыми породами.

В качестве примера можно привести данные исследований, выполненных по буровому профилю Л-210, расположенному на Арктическом побережье п-ва Челюскин, в среднем течении р. Кунар, где в 1986 г. были проведены работы с использованием следующих геофизических методов: ВЭЗ с АВ/2 до 500 м, двухразносного симметричного ЭП с АВ/2 11 и 100 м, двухчастотного электромагнитного профилирования на частотах 16,4 и 19,0 кГц, магниторазведки.

Удельное электрическое сопротивление (УЭС) первого слоя, отвечающее зоне сезонной оттайки, изменяется в пределах 15–50 ÷ 100–300 Ом·м (рис. 1, В). Мощность этого слоя на каждой точке измерения определялась металлическим щупом и варьирует от 10 до 70 см.

Второй слой (горизонт) характеризуется не только повышенным УЭС, но и большей вариацией электрического сопротивления по разрезу (11 000 ÷ 89 000 Ом·м, с единичными «отскоками» до 120 000 Ом·м). В геологическом отношении этому слою отвечают мерзлые морские четвертичные отложения, прослеживающиеся по всему профилю. Изменчивость УЭС объясняется различной льдистостью этих образований, а максимальные значения отвечают прослоям льда, наблюдающегося в разрезе. Мощность слоя меняется от 2 до 5 м.

Наибольший интерес представляет третий слой, характеризующийся пониженным сопротивлением 30–200 Ом·м. Согласно геологическим данным этот слой отвечает мерзлым прибрежно-морским верхнеюрским отложениям. Пониженное сопротивление

этих пород объясняется наличием повышенного содержания солей, а изменение УЭС по разрезу – различными концентрациями соли в отложениях. Мощность верхнеюрских рыхлых образований составляет по данным бурения от 5 до 50 м и от 5 до 65 м по данным интерпретации ВЭЗ.

С начала постановки электроразведочных работ в районах развития многолетней мерзлоты установлены отдельные аномальные зоны электропроводности, в которых УЭС горных пород составляет всего 10–200 Ом·м (для сравнения отметим, что такое сопротивление отвечает самым низкоомным породам – глинам в талом состоянии). В частности, в 1985 г. геофизик Полярной ГРЭ О.Ф. Тараторкин, выполняя работы методом ВЭЗ на профиле Л-210, обратил внимание на немерзлотный («материковый») тип полученных кривых ВЭЗ.

Электрическая граница между третьим и четвертым слоями менее четкая, чем у двух вышележащих границ, но, тем не менее, она хорошо проявляется на кривых ВЭЗ. УЭС нижнего слоя составляет 250–600 Ом·м. С геологической позиции он отвечает мерзлым коренным доюрским породам (известняки, сланцы, вулканиты).

Несмотря на то что по электрическим свойствам коренные горные породы хорошо дифференцированы (по данным ВЭЗ, поставленным в местах выхода таких образований на дневную поверхность) достоверно установить их местоположение на разрезе не представляется возможным. По-видимому, это связано с переслаиванием карбонатно-сланцевой толщи, из-за чего электрический ток, протекая по породе, показывает среднее сопротивление этой толщи.

Наличие низкоомного горизонта позволило (скин – слой 65 м вместо ожидаемых при высоком сопротивлении 500 м) впервые использовать в этом регионе метод РЭМП на частотах 16,4 кГц (радиостанция расположена в Норвегии, позывные YXZ, координаты излучателя 52° 25' с.ш. и 13° 12' в.д.) и 19,0 кГц (радиостанция принадлежит Англии, позывные GOD, координаты излучателя 52° 22' с.ш. и 01° 11' в.д.), имеющих примерно один пеленг.

Следует отметить отсутствие в районе работ сигналов от радиостанций 66 кГц (сеть советских маломощных навигационных излучателей) и радиостанции 15,1 кГц (французская радиостанция мощностью 500 кВт), хотя геофизики ЦАГРЭ ПГО «Северморгеология» проводили работы на Северной Земле со станцией «Скат» именно на этой частоте.

Работы по профилю Л-210 показали, что пониженные участки погребенного рельефа характеризуются пониженными (по абсолютной величине) значениями фазы приведенного поверхностного импеданса ( $\varphi$ ) (рис. 1, А). В тех местах, где коренные породы практически выходят на дневную поверхность, фаза импеданса имеет значения, близкие к 45°, что отвечает однородному разрезу. В то же время модуль приведенного поверхностного импеданса ( $рэф$ ) в таких местах имеет пилообразный характер и может принимать повышенные значения (зона развития кварцевых жил).

## Электропроводность мёрзлых и талых горных пород

Горная порода ↓	Электропроводность, см/м										
	Талая	Талая	Мёрзлая	Талая	Мёрзлая	Талая	Мёрзлая	Талая	Мёрзлая	Талая	Мёрзлая
Лигнегарурный источник →	7	8	8	9	9	10	10	10	11	11	Среднее
Глина	$10^0-10^{-2}$	-----	$10^{-1}-10^{-3}$	$10^{-1}-10^{-2}$	-----	-----	-----	-----	$10^{-1}-10^{-2}$	-----	$10^{-1}-10^{-3}$
Суглинок	-----	-----	$10^{-1}-10^{-3}$	-----	$3 \cdot 10^{-4}-10^{-4}$	-----	-----	-----	$5 \cdot 10^{-2}-10^{-2}$	-----	$10^{-3}-10^{-4}$
Супесь	-----	-----	$10^{-1}-10^{-3}$	-----	$3 \cdot 10^{-4}-10^{-4}$	-----	-----	-----	$10^{-2}-3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}-5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-4}-5 \cdot 10^{-5}$
Песок	$10^{-2}-4 \cdot 10^{-4}$	$1-10^{-5}$	$10^{-3}-10^{-7}$	-----	$3 \cdot 10^{-3}-10^{-5}$	-----	$3 \cdot 10^{-6}-10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}-10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-2}-5 \cdot 10^{-5}$	$10^{-4}-10^{-5}$	$10^{-3}-10^{-7}$
Гравий	-----	$1-10^{-5}$	$10^{-3}-10^{-7}$	-----	-----	-----	$3 \cdot 10^{-6}-10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}-10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-2}-3 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}-10^{-5}$	$10^{-3}-10^{-7}$
Алевролит	$1-10^{-4}$	-----	-----	$5(10^{-2}-10^{-3})$	-----	-----	$2 \cdot 10^{-3}-6 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}-6 \cdot 10^{-4}$	-----	-----	$2 \cdot 10^{-3}-6 \cdot 10^{-4}$
Глинистый сланец	$(1-2) \cdot 10^{-5}$	$10^{-2}-5 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$2(10^{-2}-10^{-3})$	-----	$7 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	-----	-----	$10^{-3}-6 \cdot 10^{-4}$
Песчаник	$2(10^{-3}-10^{-4})$	$5 \cdot 10^{-3}-2 \cdot 10^{-3}$	$(2-3) \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-2}-10^{-3}$	-----	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	-----	-----	$(2-3) \cdot 10^{-4}$
Карбонаты	$10^{-4}-10^{-6}$	-----	$10^{-3}-10^{-5}$	$10^{-2}-10^{-5}$	-----	-----	$10^{-3}-5 \cdot 10^{-4}$	$10^{-3}-5 \cdot 10^{-4}$	-----	-----	$10^{-3}-10^{-5}$
Гипербазиты	$10^{-3}-10^{-4}$	$10^{-2}-10^{-4}$	$10^{-3}-10^{-5}$	$5(10^{-4}-10^{-6})$	-----	$2 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}-3 \cdot 10^{-4}$	$10^{-3}-3 \cdot 10^{-4}$	-----	-----	$10^{-3}-10^{-5}$
Базальт	$10^{-2}-10^{-4}$	-----	$10^{-3}-10^{-5}$	$2(10^{-3}-10^{-6})$	-----	-----	$2 \cdot 10^{-3}-5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}-5 \cdot 10^{-3}$	-----	-----	$2 \cdot 10^{-3}-5 \cdot 10^{-3}$
Андезит	$2 \cdot 10^{-3}-10^{-5}$	-----	$10^{-3}-10^{-5}$	$2(10^{-3}-10^{-5})$	-----	-----	$2 \cdot 10^{-3}-10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}-10^{-3}$	-----	-----	$10^{-3}-10^{-5}$
Липарит	$10^{-2}-10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}-10^{-5}$	-----	-----	-----	$2 \cdot 10^{-3}-10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}-10^{-4}$	-----	-----	$10^{-3}-10^{-5}$
Гранит	$10^{-3}-10^{-4}$	-----	$5 \cdot 10^{-4}$	$10^{-3}-10^{-4}$	-----	$10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}-2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}-2 \cdot 10^{-4}$	-----	-----	$5 \cdot 10^{-4}-2 \cdot 10^{-4}$
Диабаз	$2(10^{-6}-10^{-7})$	-----	$10^{-3}-10^{-5}$	$2(10^{-6}-10^{-7})$	-----	-----	$2.5 \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	-----	-----	$2.5 \cdot 10^{-4}$
Кристаллический сланец	$2(10^{-3}-10^{-6})$	-----	$10^{-3}-10^{-5}$	$2(10^{-3}-10^{-6})$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	$10^{-3}-10^{-5}$

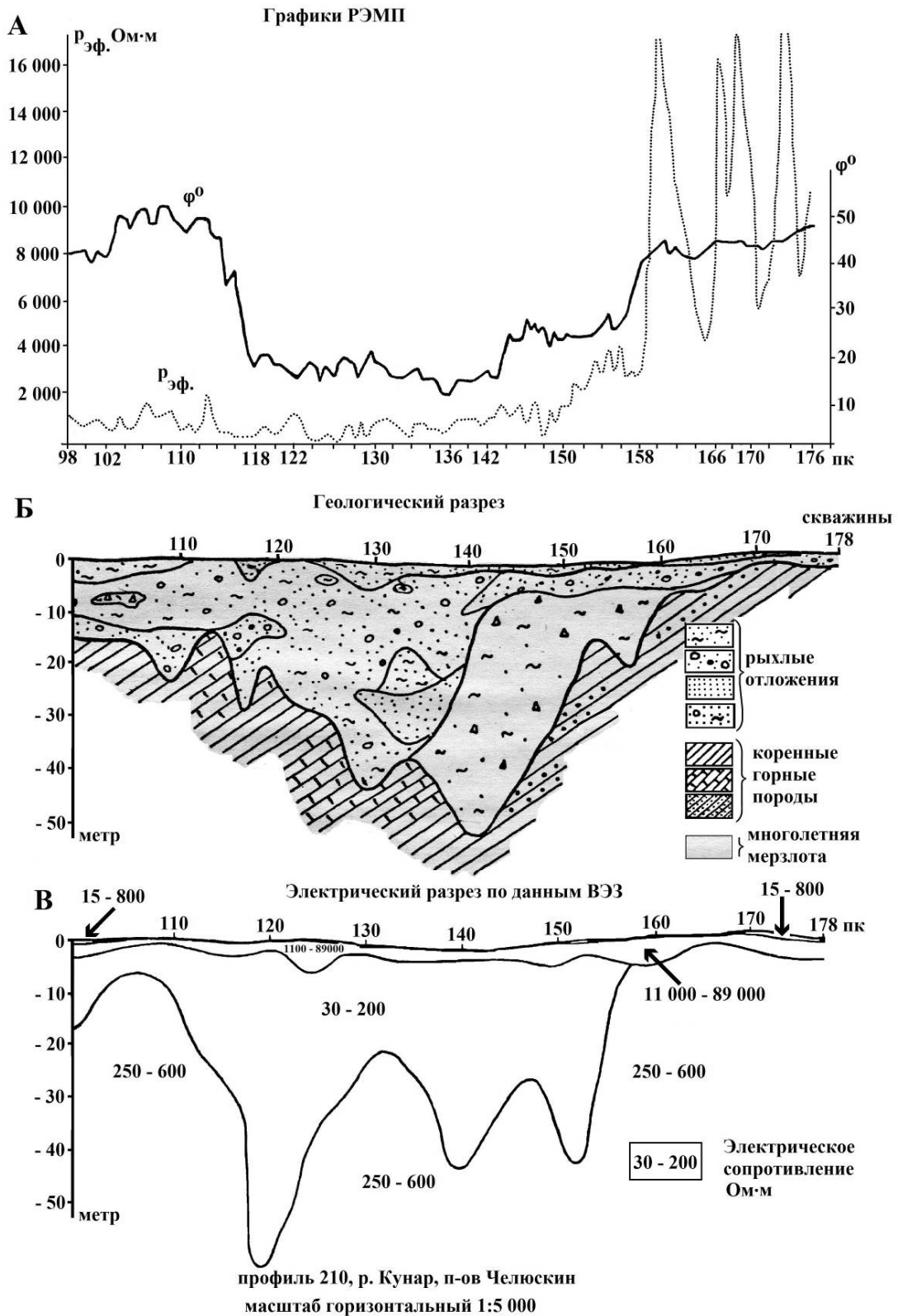


Рис. 1. Зона пониженного электрического сопротивления в многолетнемерзлой толще

Работы, проведенные на участках «Кунар», «Междуречье», «Серебрянка», «Анжелико», «Путевой», «Тессема», «Летний» на п-ве Челюскин показали повсеместное наличие низкоомного горизонта, связанного с минерализацией многолетнемерзлых горных пород. Благодаря тому редкому обстоятельству, что летние сезоны 1985 и

1986 гг. были необычайно сухими и тундра очень сильно высохла, на полуострове проявились «запрещенные» для тундры геоморфологические образования – солончаки и такыры. Солончаки и такыры представляют собой плоские участки тундры совершенно лишенные растительности и сложенные преимущественно светлыми глинами,

разбитыми глубокими трещинами усыхания на отдельные многоугольные плитки. Горьковато-соленая и слегка «мыльная» на вкус соль выступала на поверхности глиняными пятнами и почти сплошной корочкой толщиной до 1–2 мм. УЭС, по данным ВЭЗ, верхнего шестиметрового мерзлого слоя такыра имеет значение всего 15 Ом·м.

Таким образом, выявленное нами ранее [5, 14–16] широкое распространение зон с пониженным электрическим сопротивлением среди многолетнемерзлых пород можно считать установленным фактом, что подтверждают и другие исследователи криолитозоны [22–25 и др.].

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Пылаев А.А.* Состояние и проблемы разработки карт геоэлектрических свойств подстилающей поверхности в интересах оценки распространения земной волны // Тезисы докладов XIV Межведомственного семинара по распространению километровых и более длинных волн. Горький, 1989. С. 8–14.
2. *Техническая документация к аппаратуре ИПИ-1000.* Описание методики и техники работ методами РЭМП и РЭМЗ. Л. : НИИЗК ЛГУ, 1989. 20 с.
3. *Штейнберг А.А.* Метод компарирования. Основные идеи, возможности, методика измерений. Л. : ОКТБ «Радиофизика» при ЛГУ, 1987. 20 с.
4. *Баяхметова Т.В., Захаренко В.Н., Попов Л.Н.* К методике измерений в ближней зоне радиостанций СВ-ДВ диапазонов // Рациональное использование природных ресурсов Сибири. Томск, 1989. 144 с.
5. *Баяхметова Т.В., Евсеева Н.С., Захаренко В.Н.* и др. Особенности распространения радиоволн СВ-ДВ диапазонов на севере и юге Западной Сибири // Распространение километровых и более длинных волн. Омск, 1990. С. 66–67.
6. *Захаренко В.Н., Попов Л.Н., Краковецкий Ю.К., Вылцан И.А.* Дистанционные методы в геологии // Актуальные вопросы геологии Сибири. Томск, 1988. Т. 1. С. 54–55.
7. *Кобранова В.Н.* Петрофизика. М. : Недра, 1986. 392 с.
8. *Электроразведка.* Справочник геофизика. М. : Недра, 1979. 518 с.
9. *Физические свойства горных пород и полезных ископаемых :* справочник геофизика. М. : Недра, 1978. 527 с.
10. *Якулов В.С.* Электропроводность и геоэлектрический разрез мерзлых толщ. М. : Наука, 1968. 179 с.
11. *Доржиев В.С., Адвокатов В.Р., Бодиев Б.Б.* Геоэлектрические разрезы юга Сибири и Монголии. М. : Наука, 1987. 94 с.
12. *Захаренко В.Н.* Влияние вариаций электропроводности подстилающей поверхности на амплитуду напряженности земной волны диапазонов СВ и ДВ // Электросвязь. 1992. № 1. С. 34–35.
13. *Захаренко В.Н., Коржинская С.В., Огурцов Б.Л., Попов Л.Н.* Влияние сезонных изменений параметров подстилающей поверхности на величину радиополя // Низкочастотный волновод «Земля – ионосфера». Алма-Ата : Гылым, 1991. С. 74–77.
14. *Захаренко В.Н., Попов Л.Н., Вылцан И.А., Седихменова В.М.* Электропроводность подстилающей поверхности в зоне высоких широт // Геомагнетизм и аэронавигация. 1989. Т. 29, № 2. С. 347–349.
15. *Захаренко В.Н., Попов Л.Н., Кабанов М.В. и др.* Об аномалиях электропроводности подстилающей поверхности Земли в зоне высоких широт // Доклады АН СССР. 1990. Т. 314, № 5. С. 1092–1095.
16. *Захаренко В.Н.* Использование электроразведки при картировании погребенного рельефа в районах развития многолетней мерзлоты // Рациональное использование природных ресурсов Сибири. Томск, 1989. 142 с.
17. *Кузубов Ф.А.* Сезонная зависимость дневных значений напряженности поля СВ радиовещательных станций // Геомагнетизм и аэронавигация. 1969. Т. 9, № 6. С. 1110–1112.
18. *Егоров В.А.* Определение эффективных электрических свойств растительного покрова // Девятая региональная конференция по распространению радиоволн. СПб. : НИИ Радиофизики, 2003. 25–26 с.
19. *Баяхметова Т.В., Захаренко В.Н., Пертель М.И., Попов Л.Н.* Учет влияния растительного покрова при распространении радиоволн земным лучом в СВ – ДВ диапазонах // Тезисы доклада на Всесоюзном совещании по приземному распространению радиоволн и электромагнитной совместимости. Улан-Удэ, 1990. С. 219–220.
20. *Коржинская С.В., Лутченко А.А., Тихомиров Н.П., Захаренко В.Н.* Температурные вариации  $W$  в диапазоне частот 100–1000 кГц на лесных трассах юга Западной Сибири // Тезисы докладов XVII Межведомственного семинара по распространению километровых и более длинных радиоволн. Томск : ТГУ, 1991. С. 21–23.
21. *Егоров В.А., Макаров Г.И.* Влияние растительного покрова на распространение электромагнитных волн с учетом сезонных и суточных изменений температуры // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2006. Сер. 4. Физика – химия. Вып. 1. С. 10–20.
22. *Башкуев Ю.Б., Адвокатов В.Р., Ангархаева Л.Х.* Карты геоэлектрических разрезов Восточного полушария // Физика Земли. 2003. № 9. С. 87–94.
23. *Мельчинов В.П., Башкуев Ю.Б., Ангархаева Л.Х., Буянова Д.Г.* Электрические свойства криолитозоны востока России в радиодиапазоне. Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2006. 258 с.
24. *Доржиев В.С., Адвокатов В.Р., Бодиев Б.Б.* Геоэлектрические разрезы юга Сибири и Монголии. М. : Наука, 1987. 94 с.
25. *Башкуев Ю.Б., Мельчинов В.П., Дембелов М.Г. и др.* Влияние электрических свойств криолитозоны на распространение земной волны в высоких широтах // Геомагнетизм и аэронавигация. 2006. Т. 46, № 4. С. 536–546.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 24 марта 2012 г.