

T 04

Monitoring of the First Meters of Permafrost Using Compact Equipment Induction Sensing

D.I. Fadeev* (Trofimuk Inst. of Petroleum Geology & Geophysics), A.N. Faguet (IPGG SB RAS), I.N. Yeltsov (IPGG SB RAS) & I.O. Shaparenko (IPGG SB RAS)

SUMMARY

The paper presents the results of a two-year monitoring of the state of the tundra in the territory of a research station on the island of Samoilovsky. The work was carried out using compact inductive sounding equipment, which in itself is quite unique. The results helped to avert an emergency that in severe conditions of the Far North is particularly dangerous.

Мониторинг состояния первых метров зоны вечной мерзлоты при помощи компактной аппаратуры индукционного зондирования

Д.И. Фадеев* (НГУ, ИНГГ СО РАН), И.Н. Ельцов (ИНГГ СО РАН), А.Н. Фаге (ИНГГ СО РАН), И.О. Шапаренко (ИНГГ СО РАН)

Введение

Многолетнемерзлые породы и горные ледники, занимая более половины территории страны, отличаются отрицательными постоянными или нулевыми температурами горных пород, наличием льда как в виде наледей, горных ледников, покровов, так и в виде погребенных залежей пластовых и жильных льдов. Геофизические исследования проводятся либо для изучения сложного объекта и явления природной геологической среды, каким являются многолетнемерзлые породы, либо для исключения искажающего влияния мерзлотных факторов при поисках и разведке полезных ископаемых, в том числе подземных вод [Манштейн, 2002].

Применение электромагнитных приборов для изучения разрезов тундровой зоны осложнено тем фактом, что все слагающие породы имеют высокие удельные сопротивления. Как следствие измеряемые сигналы не велики. Не достаточен и опыт применения разрабатываемых индукционных приборов для изучения вечной мерзлоты. Однако в результате экспедиций в 2014-2015 годах, на о. Самойловский, был собран качественный полевой материал, способный приносить реальную пользу людям, выживающим в условиях крайнего севера.

Методы

Частотное зондирование и электропрофилирование осуществлялось бесконтактным способом аппаратурно-программным комплексом ЭМС, запатентованной разработкой Института геофизики СО РАН [Манштейн и др., 2000; Манштейн и др., 2008]. Аппаратурный комплекс предназначен для выполнения электромагнитных частотных зондирований (ЧЗ) и картирований с индукционным возбуждением и приемом. В аппаратуре ЭМС методы ЧЗ и ЭК реализованы следующим образом - создается управляемое по фазе переменное магнитное поле последовательно на нескольких частотах (число частот выбирает оператор в зависимости от поставленной задачи). На каждой частоте выполняется измерение реальной и мнимой компонент вторичного поля. Цикл измерения на каждой частоте включает два этапа. Первый - измерение прямого поля, по значению которого определяется величина тока в генераторе. Второй - измерение сигнала от токов, наведенных в изучаемой среде. Диапазон частот зондирования 2.5-250 кГц (табл. 1); число значений частот 14, глубина исследуемого грунта - до 7 м. Измеряемые сигналы обрабатываются путем трансформации в кажущиеся сопротивления. Распределения полученных кажущихся величин УЭС представляются в виде разрезов и карт.

Таблица 1. Частоты аппаратуры эмс

№ частоты	Частота, кГц	№ частоты	Частота, кГц
1	2.5	8	15.6
2	3.1	9	20.4
3	3.9	10	27.8
4	5.1	11	40.0
5	6.9	12	62.5
6	10.0	13	111.1
7	12.3	14	250.0

Геометрические параметры ЭМС (рис. 1): радиус генераторной катушки $R_T = 0.165$ м; радиусы приемных катушек $R_{П1} = R_{П2} = 0.025$ м. Количество витков в генераторной катушке $n_T = 40$, в ближней приёмной катушке $n_{П1} = 10.8$; в дальней $n_{П2} = 50$. Расстояния между центрами генераторной и приёмных катушек $r_1 = 1.5$ м и $r_2 = 2.5$ м [Балков, 2011].

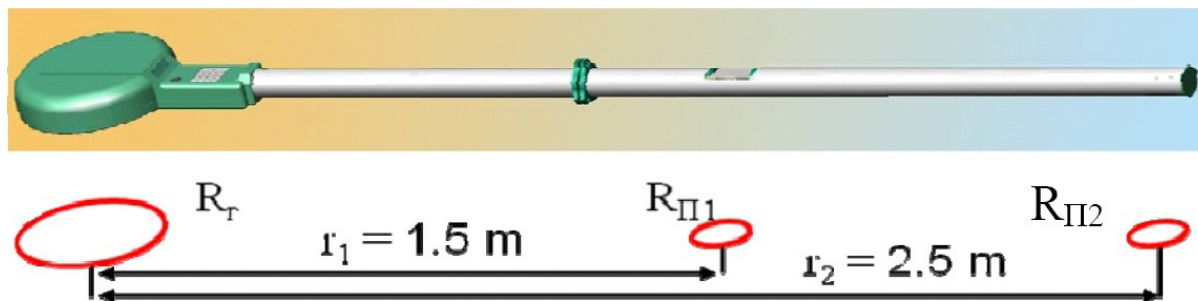


Рисунок 1 Схема аппаратуры ЭМС.

Описание работ

Работы методом частотного зондирования и профилирования были проведены на о. Самойловском (рис. 2) в августе 2015 г, дублирующие измерения 2014 года.



Рисунок 2 Остров Самойловский в дельте р. Лены. Координаты: $72^{\circ}22'38''N$ $126^{\circ}29'17''E$.

Работы были проведены на объекте близ дизельной установки, подверженному постоянному антропогенному воздействию, Площадка №1 в нумерации объектов 2014 года. Его расположение в плане станции представлено на рисунке 3.

Площадка № 1 имеет размеры 16 x 7.5 метров, шаг измерений по профилю фиксирован и составляет 0.5 м, расстояние между профилями 0.5 м. Количество точек записи 7392.

Помимо индукционных исследований проводились измерения толщины приповерхностного талого слоя. Измерения проводились при помощи пронизывания мягкого слоя щупом.

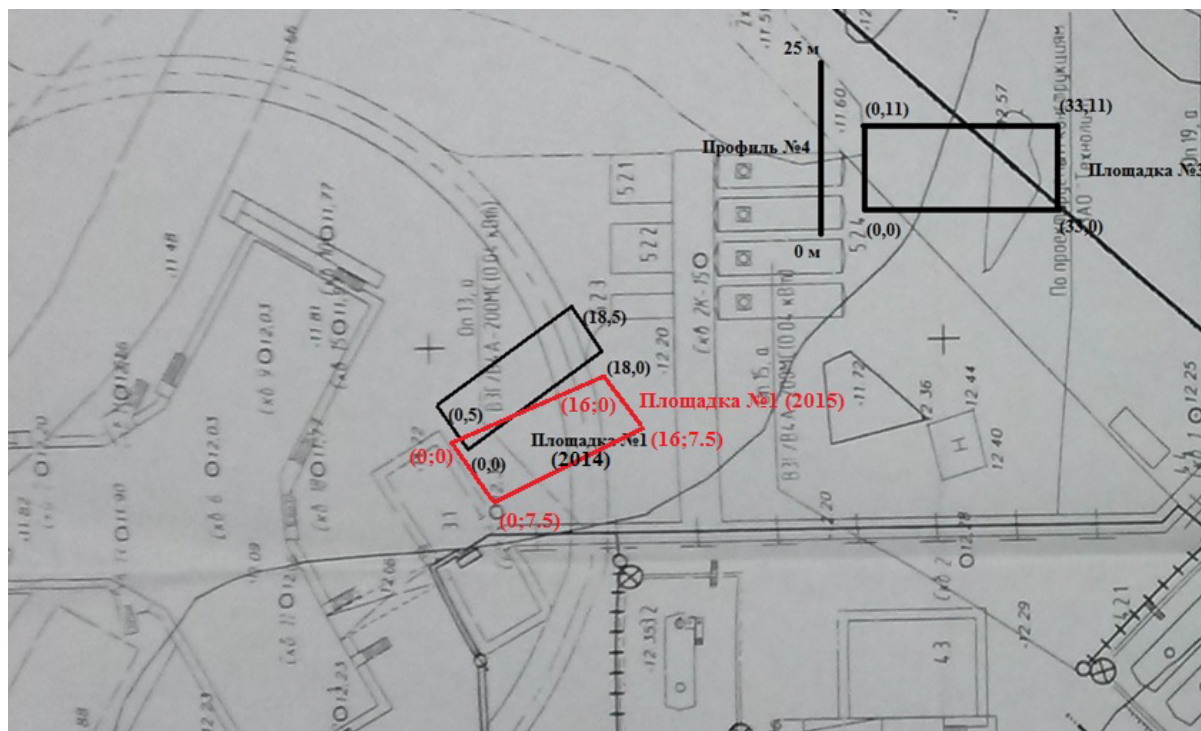


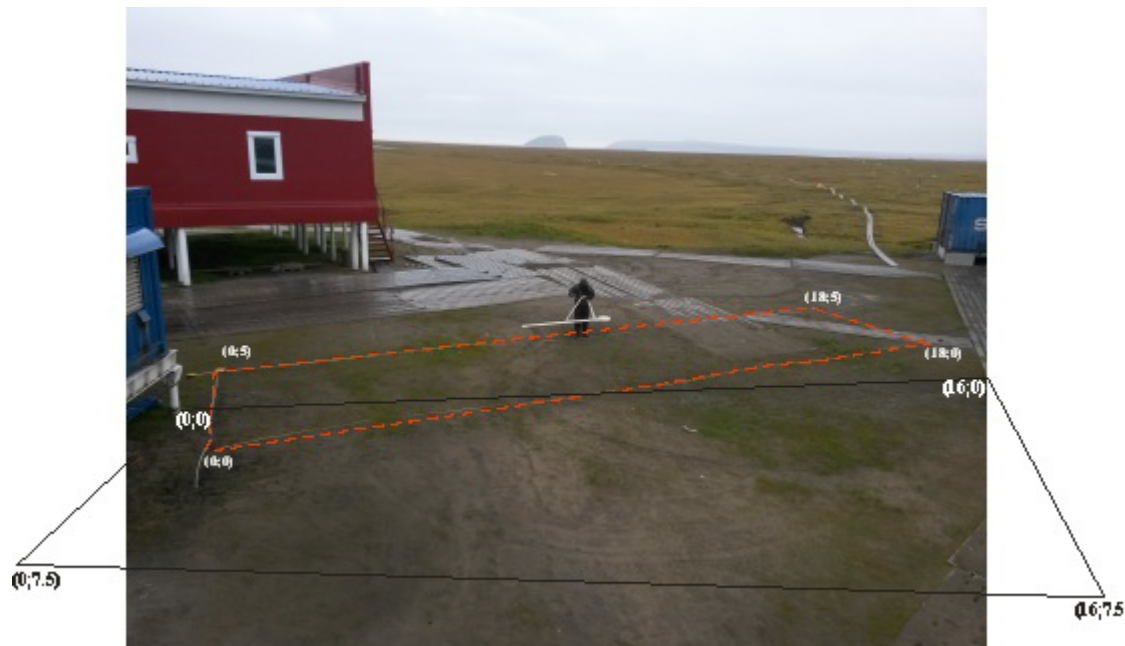
Рисунок 3 Расположение изучаемых объектов на техническом плане станции Самойловский. Черным прямоугольником обозначена площадь, исследованная в 2014 году, красным изученная в 2015. Расстояния в метрах.

Для данных ЧЗ и ЭП непосредственно в процессе работы производился контроль качества данных на предмет представительности аномалий (более трех точек записи для каждой аномальной зоны). Предварительная обработка проводилась в программе «IISystem», в которой определялось геометрическое соответствие системы измерений и осуществлялся экспорт данных. Дальнейшая обработка выполнялась с использованием программы «ISystem», в которой строились разрезы и карты распределения кажущегося удельного электрического сопротивления среды.

Результаты

Ввиду ограниченности во временном ресурсе решение о выборе объекта исследований принималось на основании представлений о его важности для эксплуатации станции. Визуальный осмотр (рис. 4) показал значительные изменения в состоянии объекта «Площадка №1» находящегося вблизи дизельной станции, играющей важнейшую роль в жизнеобеспечении станции.

а)



б)



Рисунок 4 Сравнение внешнего состояния изучаемого объекта на момент августа 2014 года (а) и августа 2015 (б). Черным и красным прямоугольниками обозначена площадь исследований 2014 и 2015 гг. соответственно. Локальные координаты углов даны в метрах.

Основными результатами осуществленных работ служат разрезы распределения кажущихся величин УЭС, полученные по данным метода частотного индукционного зондирования. Распределение кажущегося сопротивления на разрезах 2014 года представлено на рисунке 5. На всех разрезах присутствуют близповерхностные аномалии пониженного сопротивления, которые можно рассматривать как характеристику формы мерзлых пород. Аномалии протаивания, расположенные на разрезах на 5, 8 и 12 м по профилю, на поверхности выражаются в наличии растительности, что может быть свидетельством увеличения мощности оттаявшего слоя. Это ярко проявляется на разрезах ЧЗ (левая часть рисунка 5). На всех построенных разрезах присутствуют мощные аномалии, относящиеся к опорной свае в левой части площадки. Также на разрезе $Y=0$ в правой части наблюдается влияние правой сваи.

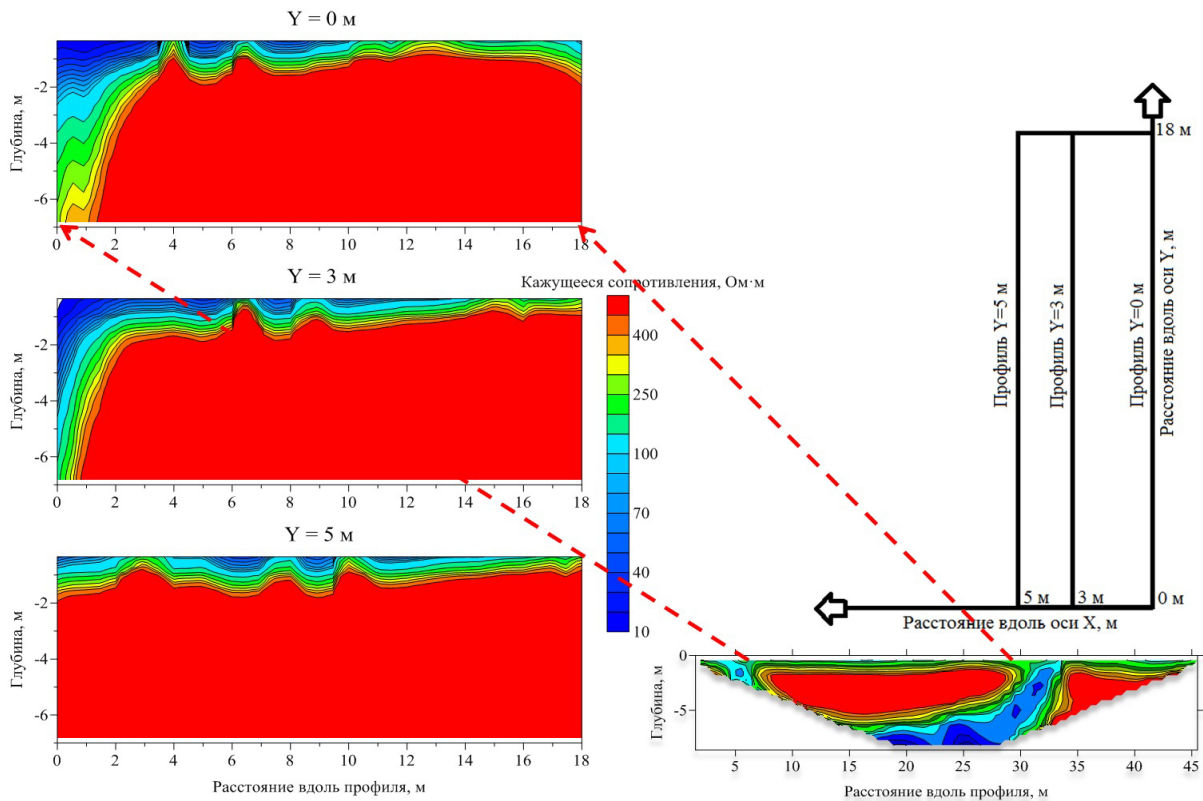


Рисунок 5 Результаты трансформации данных частотного зондирования (7 августа 2014 года), и разрез электротомографии на объекте исследования.

Для учета влияния опорной сваи на результаты измерений было проведено физическое моделирование. На рисунке 6 приведена профильная кривая, на которой расположен изучаемый объект. По графику видно, что влияние сваи практически полностью нивелируется на удалении 2 м от нее. Таким образом, на удалении 2 м данные уже можно считать избавленными от влияния металлических конструкций.

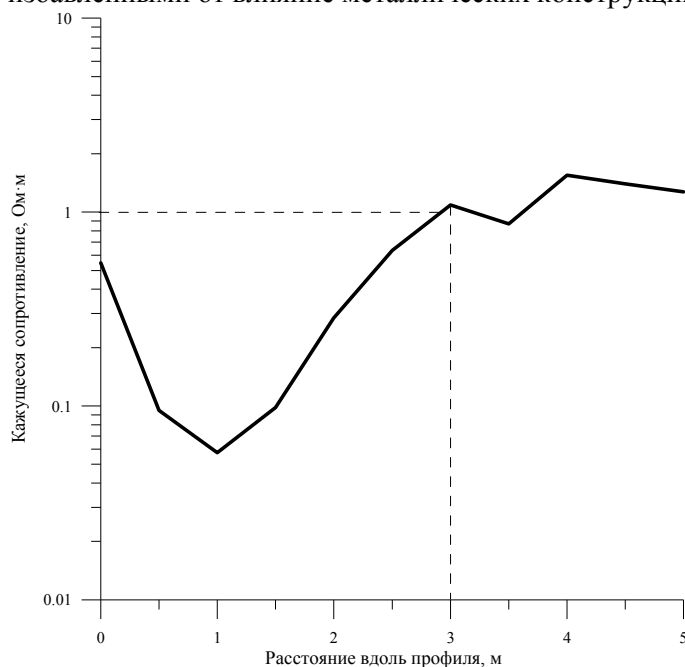


Рисунок 6 Профильная кривая кажущегося сопротивления, построенная для тестового объекта «Свая». Тело сваи располагается в точке 1 м по профилю.

В связи с установкой на месте площадки 2014 года дополнительной дизельной станции появилась необходимость смещения профилей.

Основными результатами осуществленных работ служат разрезы распределения кажущихся величин УЭС, полученные по данным метода частотного зондирования. На рисунке 7 изображены результаты обоих лет исследований. На правые разрезы также вынесены данные о фактической глубине до мерзлых пород, по данным шупа. Как мы видим поверхность твердых пород хорошо коррелирует с изоповерхностью 100 Ом·м. Отталкиваясь от данного вывода возможна оценка увеличения объема нарушенных (протаявших) пород. К сожалению, для сравнительного анализа результатов измерений двух лет пригоден лишь один общий профиль (рисунок 8).

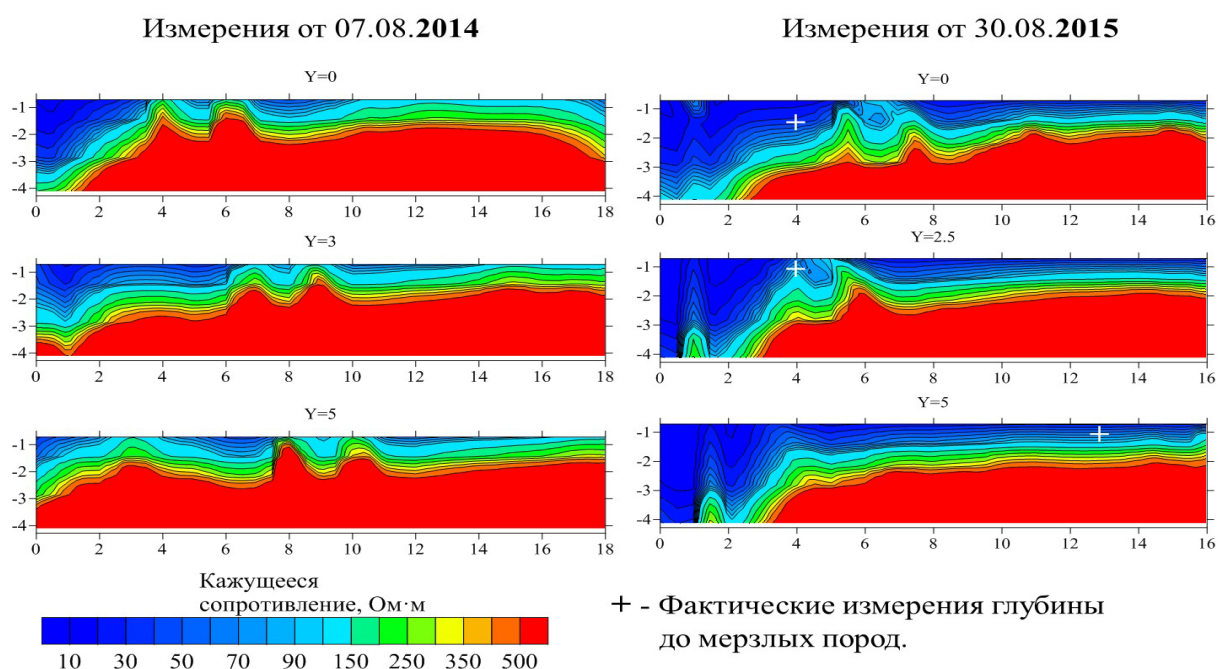


Рисунок 7 Результат трансформации данных ЧЗ, слева 2014 г, справа состояние на 2015 г.

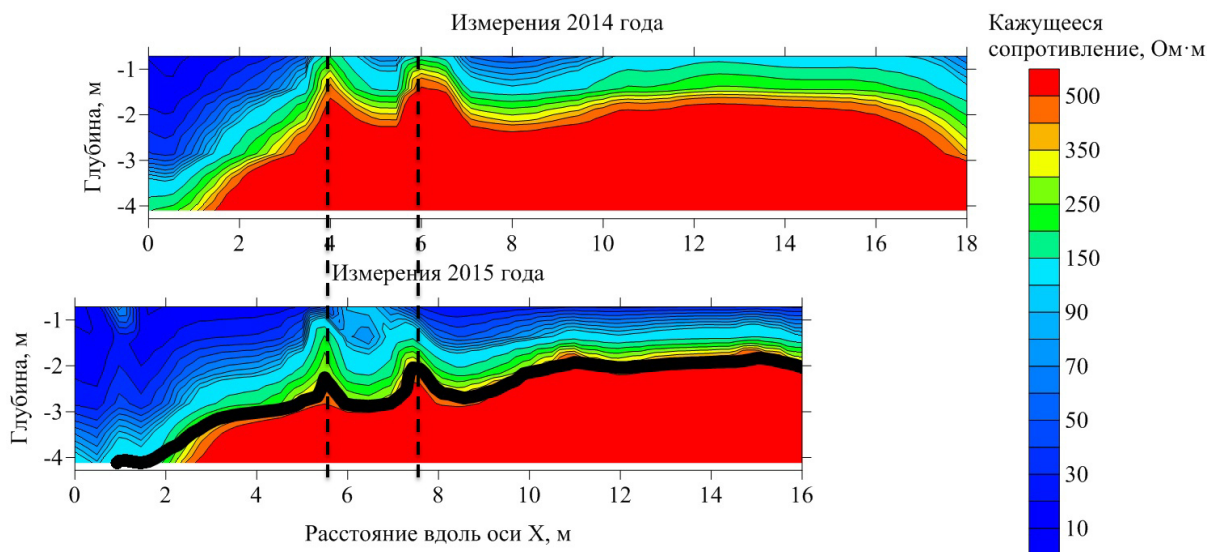


Рисунок 8 Сравнение результатов трансформации данных ЧЗ 2014 и 2015 годов. Пунктиром показано геометрическое соответствие профилей.

Жирной линией на рисунке 8 обозначена поверхность уровня сигнала 5 мкВ, ниже нее сигнал является не достоверно измеряемым аппаратурой.

Выводы

За период с 2014 года заметно увеличилась область протайки, что отражается даже при зрительном осмотре площади работ. По данным частотного зондирования глубина протайки в зоне свободной от помех связанных с опорными столбами, но все еще подвергающейся непрерывному воздействию вентиляции, увеличилась на 0.5 метра по глубине.

Протяженность измененной области (4-6 метр) увеличилась на 30-50 см. Появилась дополнительная зона углубления мерзлых пород (8 метр). Увеличился общий объем протайки по площадке. Оставление без внимания проблемы протаивания на объекте исследований приведет к аварийно-опасной ситуации.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта «Геолого-геофизические и геохимические исследования строения переходной зоны Сибирский континент – шельф моря Лаптевых в дельте р. Лены и на прилегающих территориях (на базе развития НИС «Остров Самойловский»)» (номер VIII.73.1.7.), при поддержке Российского научного фонда (проект номер: 16-17-10179).

Библиография

- Балков Е.В., Технология малоглубинного частотного зондирования // Геофизика, 2011, №6, 42-47.
- Панин Г.Л., Многоэлектродная аппаратура методов сопротивлений «Скала-48» // Материалы конференции: инженерная и рудная геофизика, Геленджик, 2008, 2 с.
- Манштейн А.К. Малоглубинная геофизика: Учеб. пособие по спецкурсу. Новосибирск, Новосиб. гос. ун-т, 2002. 136 с.

Контактная информация

Фадеев Д.И.
Fadeev_DI@mail.ru
+7 (951) 366-51-89