

Эксперимент FENICS-2019

(4-й циркуляр от 06.09.2019)

Электромагнитные зондирования в поле промышленных ЛЭП с целью построения квази 3-D модели электропроводности, температуры и реологии литосферы восточной части Фенноскандинавского (Балтийского) щита.

Содержание	Стр
1. Основные задачи эксперимента FENICS-2019	1
2. Методика обработки первичных данных в эксперименте «FENICS-2019»	2
3. Режим работы питающих линий.	2
4. Схема расположения пунктов и трасс зондирования.....	3
5. Предполагаемые участники эксперимента FENICS-2019	5
6. Оргкомитет.....	5

Введение

Уважаемые участники эксперимента «FENICS-2019»!

В связи с техническими проблемами расписание работ изменилось. Генерация тока будет производиться с 12 по 22 сентября 2019 года в ночные часы, с 1-20 до 5-00 московского времени. Остальные технические и методические особенности проведения эксперимента «FENICS-2019» приведены ниже в тексте циркуляра.

1. Основные задачи эксперимента FENICS-2019.

1.1. Выполнить электромагнитные зондирования в разных блоках земной коры Фенноскандинавского щита с целью последующего построения квазитрехмерной модели строения литосферы и для оценки возможной связи глубинной электропроводности с металлогеническими характеристиками земной коры Карело-Кольского региона и Северной Финляндии.

1.2. Изучить свойства переходной зоны высокого сопротивления между верхней и нижней толщами земной коры в интервале глубин 10-30 км путем совместного решения обратной задачи на основе частотного и дистанционного принципов зондирования.

1.3. Исследовать анизотропные свойства литосферы Фенноскандинавского щита путем проведения измерений при двух поляризациях первичного поля.

1.4. Выполнить зондирования в области аномального погружения сейсмической границы Мохо до глубины 55-60 км в Центральной Финляндии с целью изучения возможной связи электромагнитных и сейсмоупругих свойств литосферы.

1.5. Изучить особенности распространения КНЧ-СНЧ электромагнитного поля в волноводе «Земля-ионосфера» при разных условиях возбуждения первичного поля и при разных углах прихода сигналов от источника.

1.6. Выполнить электромагнитное зондирование стенок волновода «Земля-ионосфера» и оценить анизотропные свойства околоземного пространства путем применения итерационной процедуры решения обратной задачи по входному импедансу и по отдельным компонентам при разных направлениях поляризации первичного поля.

1.7. Выполнить учет влияния статических искажений на кривые кажущегося сопротивления путем расчета разного влияния ионосферы и токов смещения на модули полных компонент электрического и магнитного полей.

2. Методика обработки первичных данных в эксперименте «FENICS-2019»

Методика обработки первичных результатов наблюдений направлена на расчет кажущегося сопротивления по полным значениям модулей электромагнитного поля и последующего расчета полного импеданса по модулям компонент. Для определения амплитуды и фазы измеренного поля используются амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики датчиков, азимуты магнитного склонения и длины измерительных линий. Далее выполняется спектральный анализ и оценивается автокорреляционная спектральная плотность мощности для каждой компоненты поля и кросс-корреляционные спектральные плотности мощности для сопряженных и анти-сопряженных пар измеренных компонент поля (1).

$$S_{xx}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) \exp[-i\omega\tau] d\tau \quad R_{xx}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{xx}(\omega) \exp(i\omega\tau) d\omega \quad (1)$$

$$S_{xy}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau) \exp[-i\omega\tau] d\tau \quad R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{xy}(\omega) \exp(i\omega\tau) d\omega$$

При спектральном анализе используется метод Уэлча со скользящим окном Блэкмана-Харриса на основе БПФ.

Расчет геометрических коэффициентов и значений кажущегося электрического сопротивления выполняется по модулям полных векторов электрического и магнитного поля с помощью следующих формул (2).

$$\rho_{tot}^E = K_{tot}^E \cdot \frac{E_{tot}}{I \cdot L_{AB}}, \text{ where } E_{tot} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

$$K_{tot}^E = \frac{K_x^E \cdot K_y^E}{\sqrt{(K_x^E)^2 + (K_y^E)^2}}, \text{ where } K_x^E = \frac{2\pi \cdot r^3}{3 \cdot \cos^2(\theta) - 2}, \quad K_y^E = \frac{2\pi \cdot r^3}{3 \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta}$$

$$\rho_{tot}^H = 2\pi f \cdot \mu_0 \cdot \left(K_{tot}^H \cdot \frac{H_{tot}}{I \cdot L_{AB}} \right)^2, \text{ where } H_{tot} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$$

$$K_{tot}^H = \frac{K_x^H \cdot K_y^H}{\sqrt{(K_x^H)^2 + (K_y^H)^2}}, \text{ where } K_x^H = \left(\frac{2\pi \cdot r^3}{3 \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta} \right)^2, \quad K_y^H = \left(\frac{2\pi \cdot r^3}{3 \cos^2\theta - 2} \right)^2$$

$$\rho_T^{Ztot} = \frac{Z^2 tot}{\omega \cdot \mu_0} = 0.127 \cdot \frac{1}{f} \cdot \left(\frac{E_{tot}}{H_{tot}} \right)^2 \quad (2)$$

3. Режим работы питающих линий.

Положение промышленных линий Л-403 (далее по тексту обозначена как *L1*) и Л-154 (далее по тексту обозначена как *L2*) показано на рис. 1. Генератор «Источник-ЭНЧ» мощностью 200 кВт будет создавать в промышленных линиях *L1* и *L2* переменный ток амплитудой от десятков ампер до 100-120 А в частотном диапазоне от 0.328 Гц до 194 Гц.

С 12 по 16 сентября генерация тока будет производиться путем подключения генератора «Источник-ЭНЧ» каждую ночь только к одной линии *L1* (Рис. 1). С 17 по 22 сентября генерация тока будет производиться путем попеременного подключения генератора «Источник-ЭНЧ» к линиям *L1* и *L2*. В четные ночи (18, 20 и 22 сентября) генератор будет подключаться к линии *L1*. В нечетные ночи (17, 19 и 21 сентября) – к линии *L2*. Ток в выведенные из работы ЛЭП *L1* и *L2* будет подаваться с 01-20 до 5-00 московского времени по одинаковому расписанию частот, приведенному в таблице 1. Поскольку Московское время отличается от Гринвича на +3 часа (теперь уже независимо от времени года), то это означает, что генерация тока в ЛЭП будет происходить по мировому времени в интервале с 22-20 вечера до 02-00 ночи.

Включение тока в промышленные ЛЭП, выведенные из работы, будет производиться по строгому согласованию с диспетчерскими службами Колэнерго по утвержденной программе. Значения силы тока в таблице 1 приведены приблизительно, на основе опыта предыдущих работ и могут несущественно изменяться. Ток намечено записывать на компьютер и на сертифицированный логгер из комплекта станции VMTU-10 с указанием меток времени в мировом стандарте с точностью не хуже 1 мкс. Станцию VMTU-10 для измерения тока предоставила Восточно-Европейская Геофизическая Ассоциация ООО «ВЕГА» (Б.В. Самсонов).

3. Схема расположения пунктов и трасс зондирования и режим включения тока.

Положение предполагаемых точек наблюдения показано на рисунке 1.

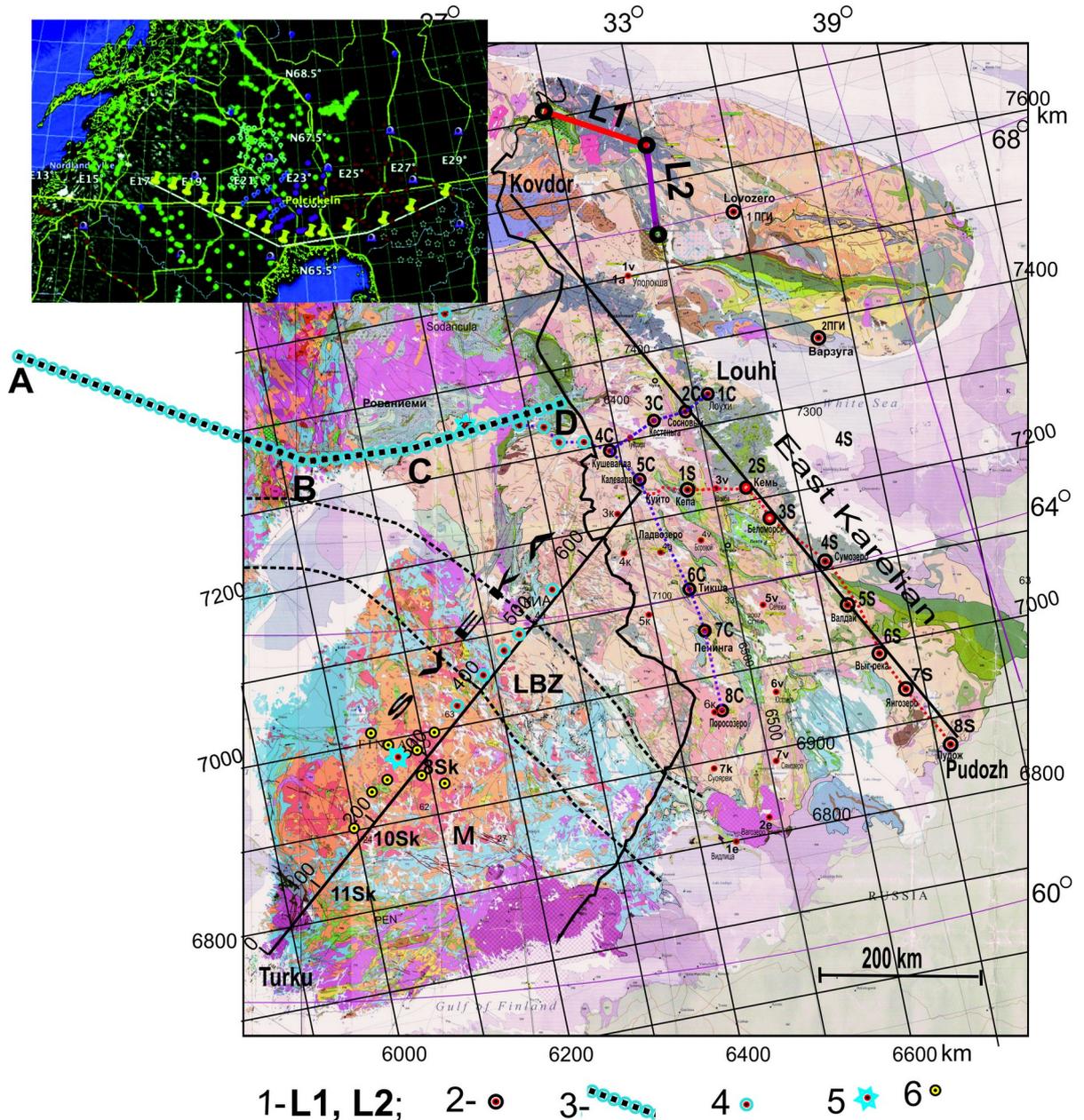


Рис. 1. Схема расположения питающих линий (L1 и L2) и планируемых пунктов зондирования в эксперименте «FENICS-2019». В левом верхнем углу показано положение пунктов зондирования на территории Швеции и Финляндии.

Условные обозначения: 1 – заземленные промышленные линии электропередачи L1 и L2; 2 – точки зондирования на территории России; 3 – то же на территории Швеции и Финляндии (запроектированные) по трассе ABCD; 4 – то же резервные точки зондирования на территории Финляндии; 5 – то же выполненные ранее точки зондирования на территории Финляндии; 6 –

пункты частотных зондирований CSAMT 1997 года на профиле SVEKA [Zhamaletdinov et al, 1998, 2002]. На рис 1, наряду с координатной сеткой Г-К, приведена географическая сетка координат и даны соответствующие обозначения в километрах и в градусах.

Режим включения тока в линии L1 и L2 (таблица 1).

Дата	Режим работы час-мин, М.В.		Длительность мин.	Пауза, мин.	Частота, Гц	Сила тока, А.		Форма тока
	Вкл.	Выкл.				Л-403 (L1)	Л-153 (L2)	
Линия L1 будет работать с 12 по 16 сентября каждую ночь, а затем по четным числам 18, 20 и 22 сентября	1-20	1-44	24	Нет	0.382	100	120	Меандр
	1-44	2-00	16	-«-	0.642	100	120	Трапеция
	2-00	2-14	14	-«-	0.942	95	110	Треугольник
	2-14	2-28	14	-«-	1.922	85	110	Треугольник
	2.28	2-42	14	2	3.822	75	100	Синус
	2-44	2-58	14	-«-	6.422	70	90	-«-
	3-00	3-14	14	-«-	9.422	60	80	-«-
Линия L2 будет работать в нечетные числа 17, 19 и 21 сентября	3-16	3-30	14	-«-	19.42	50	75	-«-
	3-32	3-46	14	-«-	38.22	50	70	-«-
	3-48	4-02	14	-«-	64.22	45	65	-«-
	4-04	4-24	20	-«-	94.22	45	60	-«-
	4-26	5-00	34	-«-	194.2	40	60	-«-

4. Схема расположения «дальних» точек измерения сигналов.

Под «дальними» точками приема сигналов в эксперименте «FENICS-2014» понимаются пункты регистрации, располагающиеся за пределами территории Фенноскандинавского (Балтийского) щита. Измерения сигналов в этих точках представляют интерес, прежде всего, в связи с задачей изучения особенностей распространения КНЧ-СНЧ электромагнитных волн в полости «Земля-ионосфера».

Возможность успешной регистрации сигналов на «дальних» точках определяется опытом работ в предыдущих экспериментах 2007, 2009 и 2014 годов. Сигналы в те годы были зарегистрированы в точках «Баренцбург» (1300 км), «Харьков (2150 км) и «Камчатка» (6770 км). При этом сигналы были зарегистрированы только от широтной линии Л-401 «Кола-Серебрянка» длиной 102 км. В 2019-м году линия Л-401 заменена на линию Л-403 «Кола-Никель» длиной 200 км, ориентированную под углом 40 градусов относительно географической широты.

Применение линии Л-403 явится важным элементом новизны в эксперименте 2019 года. Совместно с данными предыдущих лет результаты измерений сигналов от Л-403 позволят исследовать прохождение электромагнитных волн в волноводе «Земля-ионосфера» при разной поляризации источника и исследовать анизотропию электромагнитных свойств околоземного пространства. Остальные задачи исследований КНЧ-СНЧ электромагнитного поля на «дальних» точках отмечены в пунктах 1.5 и 1.6 первого раздела.

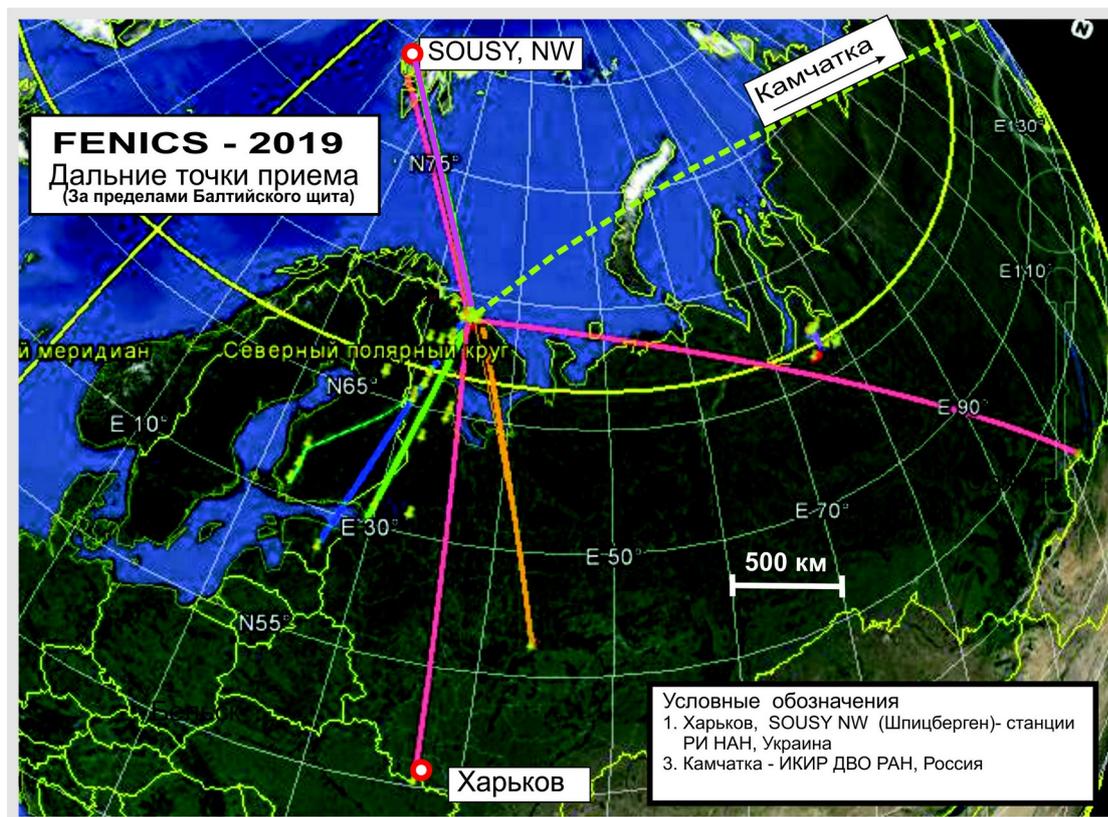


Рис. 3. Схема расположения «дальних» точек регистрации сигналов в эксперименте «FENICS-2019». В прямоугольниках на белом фоне указаны пункты регистрации, согласованные с участниками эксперимента FENICS-2019.

5. Координаты питающих и приемных линий и участники работ.

Координаты питающих и приемных линий с указанием участников работ приведены в таблице 2. Координаты приведены, по возможности, в прямоугольной системе Гаусса-Крюгера и в географической системе координат. Координаты Г-К даны в Пулковской системе. За центральную линию прямоугольной сетки координат Г-К принят меридиан 33 градуса восточной долготы.

Координаты питающих и приемных линий в эксперименте FENICS-2014 с указанием измерительных станций и участников работ (таблица 2).

№ п/п	Название пунктов	Шифр	Координаты пунктов			
			Географические		Гаусса – Крюгера (Пулковская система)	
			Северная широта	Восточная долгота	Y, км (Восток)	X, км (Север)
1	2	3	4	5	6	7

Промышленные ЛЭП и генераторная установка

Центр энергетики Севера Кольского научного центра РАН (ЦЭС КНЦ РАН), г. Апатиты, обеспечивает генерацию сигналов в промышленных ЛЭП:

В.Н. Селиванов, В.В. Колобов, М.Б. Баранник, В.В. Ивонин

Полярный геофизический институт, г. Мурманск; для генерации сигналов передает источник электромагнитного излучения экстремально низкочастотного диапазона («Источник ЭНЧ») мощностью 200 кВт. Б.В. Козелов, А.Н. Миличенко, В.Ф. Григорьев,

«ФСК ЕЭС» – МЭС Северо-Запада, Колэнерго и Кольское РДУ обеспечивают возможность работы промышленных ЛЭП L1 и L2 в режиме частотного зондирования земной коры:

С.В. Стрельцов, Б.В. Казаков, О.Ю. Горохов и В.Н. Михайлов, А.Н. Тинков

Обозначения и координаты заземлений промышленных ЛЭП						
1 №	2. Название	3. Шифр	Географ. коорд.		Координаты Г-К	
			4, Широта град	5, Долгота град.	6, Запад-Восток У, км	7, Юг-Север Х, км
1	Юго-восточное заземление (Кола)	L1 Диагональная	68° 49.872'	33° 04.628 '	6502.98	7638.61
2	Северо-западное заземление (Никель)	L1 Диагональная	69.406	30.779	7704.29	6412.79
3	Северное заземление (Кола)	L2 Меридиональная.	68° 49.872'	33° 04.628 '	6502.98	7638.61
4	Южное заземление (Мончегорск)	L2 Меридиональная.	67° 05.800 '	32° 49.358'	6489.36	7538.96
Пункты регистрации сигналов представителями разных организаций.						
Геологический институт Кольского научного центра РАН (ГИ КНЦ РАН), г. Апатиты и Восточно-Европейская геофизическая ассоциация ООО «ВЕГА», г. Санкт-Петербург.						
5-ти компонентная 32-битная МТ-АМТ станция VMTU-10. Пункты 1S-10S. А.Н. Шевцов (ГИ КНЦ РАН), А. Скрыбин (ООО «ВЕГА»).						
1	2	3	4	5	6	7
1	Кепа	1S	12.09		6470000	7225000
2	Кемь	2S	13.09		6537000	7217000
3	Беломорск	3S	14.09		6560000	7177000
4	Сумозеро	4S	15.09		6610000	7106000
5	Валдай	5S	16.09		6620000	7055000
6	Выг-река	6S	17.09-18.09		6655000	6992000
7	Янгозеро	7S	19.09-20.09		6675000	6940000
8	Пудож	8S	21.09-22.09		6720000	6860000
Геологический институт Кольского научного центра РАН (ГИ КНЦ РАН), г. Апатиты, и Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН (СПбФ ИЗМИРАН), г. Санкт-Петербург						
5-ти компонентная 32-битная МТ-АМТ станция VMTU-10. Пункты 1С-10С А.А.Скорородов (ГИ КНЦ РАН) и А.А. Жамалетдинов (СПбФ ИЗМИРАН).						
1	2	3	4	5	6	7
9	Лоухи	1С	12.09		6517000	7335000
10	Сосновый	2С	13.09		6485000	7321000
11	Кестеньга	3С	14.09		6440000	7320000
12	Кушеванда	5С	15.09		6385000	7291000
13	Калевала	6С	16.09		6413000	7250000
14	Тикша	8С	17.09-18.09		6460000	7060000
15	Пенинга	9С	19.09-20.09		6456430	7054215
16	Поросозеро	10С	21.09-22.09		6457360	6956336
Полярный геофизический институт (ПГИ), г. Мурманск.						
5-ти компонентная МТ-АМТ станция, А.Н. Миличенко, П.Е. Терещенко (ПГИ)						
1	2	3	4	5	6	7
17	Варзуга	1 ПГИ	68.592	31.756	-	-
18	Ловозеро	2 ПГИ	67.97	35.02	-	-
Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН (СПбФ ИЗМИРАН), г. Санкт-Петербург.						
5-ти компонентные АМТ-МТ станции GI-MTS-1. Ю.А. Копытенко, В.С. Исмагилов, М.С. Петрищев, П.А. Сергушин.						

1	2	3	4	5	6	7
19	Лехта	1изм	64.4266	33.9729		
Институт космических исследований ДВО РАН (ИКИР ДВО РАН), с. Паратунка Камчатского края. STELAB, FGE и FRG-601 HDZ станции, ОНЧ регистратор, Г.И. Дружин (ИКИР ДВО РАН)						
1	2	3	4	5	6	7
20	«Паратунка»	1ДВО	52°58'	158°15'	-	-
21	«Крымшина»	2ДВО	52°49'	158°07'	-	-
Радиоастрономический институт Национальной академии наук Украины (РИ НАНУ), г. Харьков, Украина (LEM1 регистраторы, Ю.М. Ямпольский, А.В. Колосков)						
1	2	3	4	5	6	7
25	Мартовая, Харьков	1укр	49° 56'0.5"	36° 57' 10"	-	-
26	SOUSY, NW Шпицберген	2укр	78° 10' 10"	15° 59' 40"	-	-
Университет Оулу, Финляндия и Университет Лулео, Швеция 5-ти компонентные МТ-АМТ станции, М.Ю. Смирнов, Т. Rasmussen Запланировано выполнить примерно 50 пунктов зондирования по субширотному профилю, показанному на рис. 1. Координаты точек будут приведены после завершения работ.						

6. Базы данных.

Результаты наблюдений будут собраны в виде двух типов баз данных. Первая база данных будет представлять собой временные ряды первичных наблюдений по измеренным компонентам электромагнитного поля и рассчитанные значения кажущегося сопротивления по полным векторам поля. Для сбора первичных данных открыт почтовый ящик geofenics@gmail.com. Пароль для доступа к ящику будет передан каждому участнику после получения от него первичных данных. Все первичные данные будут конвертированы в единый формат – бинарный. Для подготовки программы конвертации данных от каждого участника необходимо будет получить примеры записи временных рядов электромагнитного поля. Примеры записей просим направлять по электронному адресу geofenics@gmail.com с указанием адреса отправителя.

Вторую базу данных организует Максим Смирнов (Университет Оулу) на основе измерений, намеченных на территории Финляндии и Швеции.

3. Участники эксперимента FENICS-2019.

Ниже приведен список организаций, изъявивших желание участвовать в эксперименте «FENICS-2019».

1. Геологический институт КНЦ РАН (ГИ КНЦ РАН), г. Апатиты, Россия
2. Центр энергетики Севера КНЦ РАН (ЦЭС КНЦ РАН), г. Апатиты, Россия
3. ФГБУН Полярный геофизический институт, г. Мурманск.
4. Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН (СПбФ ИЗМИРАН), СПб, Россия
5. Восточно-Европейская геофизическая ассоциация (ООО «ВЕГА»), СПб, Россия
6. Геофизическая служба Финляндии г. Хельсинки и Университет Оулу.
7. Университет Лулео, Швеция
8. Радиоастрономический институт Национальной академии Украины (РИ НАНУ), г. Харьков, Украина

Участие в эксперименте FENICS-2019 приветствуется. Любой исследовательский коллектив может войти в состав участников или же проводить измерения независимо, ориентируясь на свою аппаратуру и на интересующие его задачи. Команда, принимающая участие в эксперименте по согласованной программе по окончании работ пересылает первичные данные в адрес почтового

ящика geofenics@gmail.com и сообщает об этом в Оргкомитет. В обмен независимая команда-участница получает полную информацию о работе генераторной станции (оцифровки тока с привязкой к мировому времени) и также пароль для доступа к сводной базе первичных данных эксперимента FENICS-2019.

Оперативную информацию о порядке проведения эксперимента FENICS-2019 и доступ к публикациям можно будет найти на веб-сайте ГИ КНЦ РАН по адресу:

<http://geoksc.apatity.ru/component/content/article/28-2011-03-22-14-44-01/352-fenics-2019>

4. Оргкомитет эксперимента FENICS-2019

Председатель оргкомитета

д.г.-м.н., Абдулхай Азымович
Жамалетдинов,
гл.н.с. СПбФ ИЗМИРАН,
ГИ КНЦ РАН и ЦЭС КНЦ РАН
e-mail: abd.zham@mail.ru
Телефон: +7-921-1692104

Заместитель председателя оргкомитет

по вопросам измерения и обработки данных
к.ф.-м. н., Александр Николаевич Шевцов –
ст.н.с. Геологического института КНЦ РАН
e-mail: anshev2009-01@mail.ru
Телефон: +7-921-7341337

Заместитель председателя оргкомитета

по вопросам генерации тока в ЛЭП
к.т.н. Виталий Валентинович Колобов
вед.н.с. ЦЭС КНЦ РАН
e-mail: l_i@mail.ru Телефон: +7-921-2786199

Адрес оргкомитета

Геологический институт КНЦ РАН
184209, г. Апатиты, ул. Ферсмана, 14
Телефон: (81555) 79208
Факс: (81555) 79548
E-mail: abd.zham@mail.ru