

Изменчивость теллурических полей в высокоширотных регионах со сложным геоэлектрическим строением при аномалиях космической погоды (по данным поисковых МТ зондирований на площадях Енисей-Хатангской и соседних НГО)

Епишкин Д.В.¹, Куприянов И.И.², Козырева О.В.³, Маршалко Е.Е.³, Пилипенко В.А.³, Слинчук Г.Е.^{1,4}, Соколова Е.Ю.^{2,3}, Яковлев Д.В.¹, Яковлев А.Г.^{1,4}

¹Геофизическая компания ООО «Северо-Запад», dmitri_epishkin@mail.ru

²ВНИГНИ, sokol_l@mail.ru

³ИФЗ РАН им. О.Ю. Шмидта, elena.e.marshalko@gmail.com

⁴МГУ им. М.В. Ломоносова, slin4ukgr@yandex.ru

В докладе демонстрируются результаты использования уникальной коллекции экспериментальных широкополосных частотных зависимостей тензоров магнитотеллурического импеданса по региону Енисей-Хатангского регионального прогиба, собранной в ООО «Северо-Запад», для изучения изменчивости теллурических полей в связи с экстремальными событиями космической погоды. Проанализированы пространственно-временные распределения электрических полей, синтезированных по материалам этой коллекции с использованием реальных магнитных записей во время интенсивной геомагнитной бури, а также простейших гармонических аппроксимаций полей подобных магнитных возмущений.

В результате сопоставления построенных карт распределения компонент синтезированного теллурического поля с геологическими данными выявляются геолого-структурные домены изучаемого региона, характеризующиеся наиболее сложными и интенсивными откликами. Полученные оценки экстремальных амплитуд и направлений поля, индуцированного аномальными магнитными вариациями, могут служить важной информацией для проектирования региональных инфраструктурных объектов (трубопроводов/опор, будущих линий электропередач) с учетом возможных деструктивных эффектов геомагнитно-индуцированных токов.

Ключевые слова: теллурические поля, геоэлектрические неоднородности земной коры, космическая погода, геомагнитно-индуцированные токи, ГИТ, Енисей-Хатангский региональный прогиб

ВВЕДЕНИЕ

На территории Енисей-Хатангского регионального прогиба (ЕХРП) и его окружения на Таймырском полуострове и севере Сибирской платформы в течение двух последних десятилетий в рамках нефтегазопроисловых программ Агентства по недропользованию РФ ведутся масштабные комплексные геофизические исследования. Магнитотеллурические зондирования в их современной постановке с использованием высокоточной цифровой аппаратуры, GPS синхронизации и привязки, а также шумоподавляющих приемов обработки являются базовой составляющей комплекса наряду с сейсморазведкой (Афанасенков, Яковлев, 2018). Пройдено уже свыше 50 тыс. км геофизических профилей и сформирован уникальный по качеству, детальности и охвату арктического региона (1500x300-700км) массив широкополосных МТ данных, который эффективно используется при построении моделей глубинного строения Енисей-Хатангской и соседних НГО (Кушнир, 2021; Андреев и др., 2021 и др.) (рисунок). Однако

потенциал этого материала далеко не исчерпывается возможностями решения различных структурно-геологических и прогнозных задач, связанных с поисками УВ и минерального сырья.

В докладе демонстрируются результаты использования собранной в ООО «Северо-Запад» обширной коллекции экспериментальных тензоров импеданса $Z(T, x, y)$ по региону ЕХРП и прилегающих территорий для изучения пространственной и временной изменчивости геоэлектрических полей в связи с экстремальными событиями космической погоды.

Методы и результаты

Подобные исследования активно развиваются в мире в рамках изучения процессов ЭМ взаимодействия земных оболочек, а также - в целях предотвращения угроз, создаваемых объектам инфраструктуры внезапными геомагнитными возмущениями (Osella et al., 1998; Pulkinnen et al., 2001; Cannon et al., 2013 и др.). Характеристики вариаций геоэлектрического (теллурического) поля

являются необходимыми входными данными для оценивания величины вредоносных низкочастотных токов (ГИТ), индуцируемых этими возмущениями в заземленных низкоомных промышленных конструкциях. Электрический отклик проводящих недр, а, следовательно, и возможные ГИТ, определяются как характером внешнего магнитного возбуждения, так и неоднородностями геоэлектрической структуры (Bedrosian, Love, 2015; Соколова и др., 2019; Marshalko et al., 2021 и др.).

Синтез электрического поля по имеющимся МТ данным региона ЕХРП проводится на базе двух подходов. В рамках первого в качестве внешнего возбуждения берется простейшая аппроксимация магнитного поля Dst источника в виде гармонической волны: вектор $\mathbf{H}(T_0)$ с амплитудой 1-500 нТл, осциллирующий с периодом T_0 (1-10 мин) в направлениях В-З\С-Ю. Расчет с его использованием векторов электрического поля по имеющимся комплексным тензорам МТ импеданса и зависимости $\mathbf{E}(T, x, y) = \mathbf{Z}(T, x, y) \cdot \mathbf{H}(T_0)$ позволяет непосредственно анализировать пространственно-частотные искажения падающей волны эффектами реальных неоднородностей глубинной электропроводности.

Второй подход дает представление о динамике (изменение во времени) отклика региональной геоэлектрической структуры на реальную аномальную вариацию магнитного поля. За неимением синхронного массива ЭМ наблюдений для этого применяется специально разработанная программа синтеза временного ряда электрического поля $\mathbf{E}(t, x, y)$ по заданной частотной зависимости МТ импеданса и конкретному временному ряду $\mathbf{H}(t, x, y)$. Программа использует устойчивые схемы прямых и обратных преобразований Фурье и также основана на плосковолновой модели внешнего поля (Epiashkin et al., 2018; Соколова и др., 2019). В качестве входного сигнала $\mathbf{H}(t, x_0, y_0)$ поочередно берутся 8-ти часовые сегменты записи во время интенсивной магнитной бури в одном из пунктов зондирования на Таймыре, а также на магнитных станциях Росгидромета: в регион окружают станции Норильск, Диксон, м. Челюскин, Сеяха, (о-ва Известий ЦИК рисунок), Тикси и о.Визе.

В результате сопоставления карт распределения компонент векторов $\mathbf{E}(T, x, y)$ с геологическими данными выявляются геолого-структурные домены изучаемого региона, дающие наибольшие искажения ЭМ поля, анализируется их природа. Получаемые оценки диапазона и

экстремальных величин теллурических полей и их направлений могут служить важной информацией для проектирования региональных инфраструктурных объектов (трубопроводовых опор, будущих линий электропередач) с учетом возможных деструктивных эффектов ГИТ во время геомагнитных бурь и суббурь.

Демонстрируемая последовательность временных срезов $E_x \setminus E_y(t, x, y)$ для яркого события космической погоды отражает изменения во времени индуцирующего магнитного поля, на которые наложены эффекты неоднородности реальной структуры глубинной электропроводности. Первые выводы о степени и характере влияния пространственной изменчивости внешнего поля получаются при сопоставлении синхронных временных срезов для рядов электрических полей, синтезированных по записям одной и той же бури в разных пунктах магнитных наблюдений. К анализу привлекаются также и имеющиеся оценки горизонтального магнитного тензора по данным МТ зондирования.

Построенные распределения индуцируемых электрических полей региона ЕХРП служат полезной верификацией и детализацией аналогичных построений, проводящихся по глобальным моделям электропроводности земли. Электроразведочные данные по ЕХРП дают богатый материал для фундаментального изучения ЭМ и геодинамического взаимодействия оболочек Земли, а также солнечно-земных связей (от плюм-тектоники до эффектов космической погоды).

БЛАГОДАРНОСТИ

Уникальна коллекция геофизических данных по региону Таймыра сформирована в результате нефтегазопроисковых работ, финансируемых Агентством по недропользованию РФ. Представленный анализ МТ данных проводился по Госсзаданиям ИФЗ РАН и ВНИГНИ, а также при поддержке ООО «Северо-Запад».

ЛИТЕРАТУРА

- Афанасенков А. П., Яковлев Д. В. 2018
Применение электроразведки при изучении нефтегазоносности северного обрамления Сибирской платформы. Геология и геофизика, 2018, № 7, С. 1032–1052
- Андреев В.С., Бисеркин И.В., Довыденко Г.М., Пиманова Н.Н. Слинчук Г.Е., Соколова Е.Ю., Спиридонов В.А., Широкова Т.П., Яковлев Д.В. Новые результаты геолого-геофизического изучения пермотриасовых

магматических образований Енисей-Хатангского прогиба. Тезисы конференции «Новые Идеи в Геологии Нефти и Газа-2021. Новая реальность». МГУ имени М.В. Ломоносова, 27-28 мая 2021 г.

Кушнир Д.Г. Континентальная геодинамика по данным Таймырского полигона. Тезисы конференции «Новые Идеи в Геологии Нефти и Газа-2021. Новая реальность». МГУ имени М.В. Ломоносова, 27-28 мая 2021 г.

Соколова Е.Ю., Козырева О.В., Пилипенко В.А., Сахаров Я.А., Епишкин Д.В. 2019 Вариации геомагнитных и теллурических полей в северо-западных регионах России при возмущениях космической погоды: Связь с геоэлектрической структурой и индуцированными токами в ЛЭП. Геофизические процессы и биосфера, 18, 4: 66–85. <https://doi.org/10.21455/GPB2019.4-7>

Bedrosian, P. A., and J. J. Love. 2015 Mapping geoelectric fields during magnetic storms: Synthetic analysis of empirical United States impedances, *Geophys. Res. Lett.*, 42, doi:10.1002/2015GL066636.

Cannon P. et al. 2013. Extreme space weather: Impacts on engineered systems and infrastructure. *Roy. Acad. Eng. London, UK*, 68p.

Epishkin D., V. Pilipenko, E. Sokolova, Ya. Sakharov, N. Yagova and V. Selivanov. Temporal and spatial variability of space weather driven telluric fields in Northwestern Russia. Abstracts of 24th EM Induction Workshop, Helsingor, Denmark, August 12-19, 2018. Session 3. P. 107.

Marshalko Elena, Kruglyakov Mikhail, Kuvshinov Alexey, Juusola Liisa, Kwagala Norah Kaggwa, Sokolova Elena Yu, Pilipenko Vyacheslav A. 2021 Comparing three approaches to the inducing source setting for the ground electromagnetic field modeling due to space weather events. *Space Weather, AGU*, 19, 2, doi.org/10.1029/2020SW002657

Osella, A., Favetto, A., and Lopez, E. 1998. Currents induced by geomagnetic storms on buried pipelines as a cause of corrosion. *J. Appl. Geophys.* 38: 219–233. [https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(97\)00019-0](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(97)00019-0), 1998.

Pulkkinen A., Pirjola R., Boteler D., Viljanen A., Yegorov I. 2001 Modelling of space weather effects on pipelines. *J. Appl. Geophys.* 48: 233–256. [https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(01\)00109-4](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(01)00109-4)

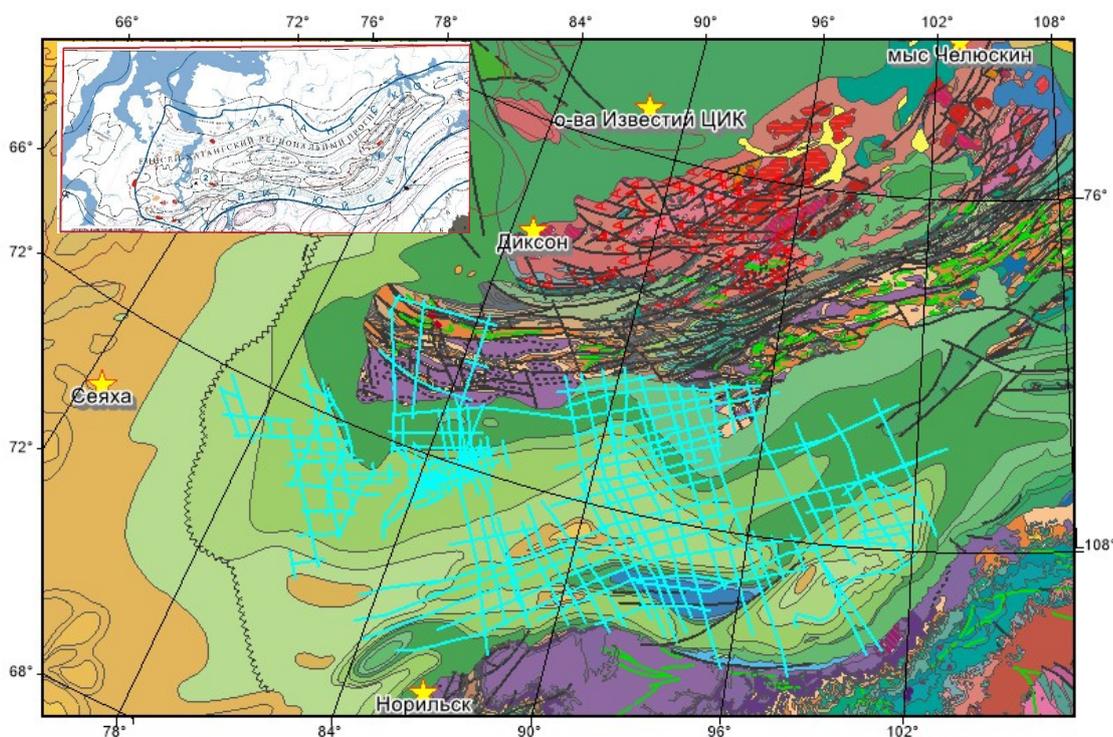


Рисунок. Профили МТЗ, пройденные с шагом 2000-500 м в рамках нефтегазопромысловых работ региональной стадии изучения территорий Енисей-Хатангской и прилегающих НГО, на фоне геологической карты региона. Звездочками отмечены положения магнитных станций Росгидромета в регионе изучения (по Гвишиани, Лукьянова, 2015).