Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2025. Т. 53. №4. С. 105 - 117. ISSN 2079-6641

ФИЗИКА

https://doi.org/10.26117/2079-6641-2025-53-4-105-117

Научная статья

Полный текст на русском языке

УДК 550.343,550.370

Измерение напряженности вертикального электротеллурического поля в разломных зонах южной части Сахалина

Н. С. Стовбун*, Л. М. Богомолов

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, Россия

Аннотация. В работе исследуются вариации вертикальной компоненты электротеллурического поля (ЭТП) до и после землетрясений, произошедших в период 2024-2025 г. Анализировались данные с двух станций, расположенных на юге о. Сахалин в центральной («Южно-Сахалинск») и западной («Колхозное») части. В качестве датчиков напряженности поля использовались заглубленные металлические пластины площадью 0.25 м^2. На станции «Колхозное» для измерений также применялись свинцовые электроды цилиндрической формы. Запись вертикального ЭТП в частотном диапазоне до 10 Гц проводилась в квазиреальном режиме времени с января 2024 г по настоящее время. Цель исследования – проверка гипотезы о возможном использовании вариаций вертикальной компоненты ЭТП как одного из предвестников землетрясения. Конкретной задачей данной работы является исследование вариаций вертикальной компоненты ЭТП на двух станциях в южной части о. Сахалин и анализ взаимосвязи с локальной сейсмичностью. По результатам измерений ЭТП установлено наличие периодов с повышенным уровнем напряженности вертикального поля, не связанные с сезонностью. Сейсмические события с магнитудами M$\geq$2, зарегистрированные на юге Сахалина, происходят преимущественно в эти периоды. Полученные результаты могут свидетельствовать, что вариации вертикальной ЭТП отражают локальные изменения сейсмического режима.

Ключевые слова: электротеллурическое поле, вертикальная компонента, изменения геофизических полей, сейсмические события, предвестники землетрясений

Получение: 19.10.2025; Исправление: 12.11.2025; Принятие: 14.11.2025; Публикация онлайн: 17.11.2025

Для цитирования. Стовбун Н. С., Богомолов Л. М. Измерение напряженности вертикального электротеллурического поля в разломных зонах южной части Сахалина // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.* 2025. Т. 53. № 4. С. 105-117. EDN: DOQEXX. https://doi.org/10.26117/2079-6641-2025-53-4-105-117.

Финансирование. Работа выполнена без поддержки фондов.

Конкурирующие интересы. Конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

Авторский вклад и ответственность. Авторы участвовали в написании статьи и полностью несут ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать.

***Корреспонденция:** E-mail: n1kolay19971997@yandex.ru

Контент публикуется на условиях Creative Commons Attribution 4.0 International License

© Стовбун Н. С., Богомолов Л. М., 2025

© ИКИР ДВО РАН, 2025 (оригинал-макет, дизайн, составление)

Vestnik KRAUNC. Fiz.-Mat. Nauki. 2025. vol. 53. no. 4. P. 105 - 117. ISSN 2079-6641

PHYSICS

https://doi.org/10.26117/2079-6641-2025-53-4-105-117

Research Article

Full text in Russian

MSC 86A15

Measurements of the Vertical Electrotelluric Field Strength in Fault Zones of the Southern Part of Sakhalin

N. S. Stovbun**, *L. M. Bogomolov

Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, 693022, Yuzhno-Sakhalinsk, 1B Nauki st., Russia

Abstract. This study investigates variations of the vertical component of the electrotelluric field (ETF) before and after earthquakes that occurred during 2024-2025. Data from two stations located in the south of Sakhalin Island in the central ("Yuzhno-Sakhalinsk") and western ("Kolhoznoe") parts were analyzed. Buried metal plates with an area of 0.25 m^2 were used as field strength sensors. At the "Kolhoznoe"station, cylindrical lead electrodes were also employed for measurements. Recording of the vertical ETF in the frequency range up to 10 Hz was conducted in quasi-real-time mode from January 2024 to the present. The aim of the study is to test the hypothesis regarding the possible use of variations of the vertical component of the ETF as earthquake precursors. The specific task of this work is to investigate variations of the vertical component of the ETF at two stations in the southern part of Sakhalin Island and to analyze the relationship with local seismicity. Based on the ETF measurements, periods with high levels of vertical field strength, not associated with seasonality, have been identified. Seismic events with magnitudes $M \geq 2$, recorded in the south of Sakhalin, occur predominantly during these periods. The obtained results may indicate that variations in the vertical ETF reflect local changes in the seismic regime.

Key words: electrotelluric field, vertical component, data recording, changes in geophysical fields, seismic events, earthquake precursor.

Received: 19.10.2025; Revised: 12.11.2025; Accepted: 14.11.2025; First online: 17.11.2025

For citation. Stovbun N. S., Bogomolov L. M. Measurements of the vertical electrotelluric field strength in fault zones of the southern part of Sakhalin. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2025, **53**: 4, 105-117. EDN: DOQEXX. https://doi.org/10.26117/2079-6641-2025-53-4-105-117.

Funding. The work was completed without the support of funds.

Competing interests. There are no conflicts of interest regarding authorship and publication.

Contribution and Responsibility. All authors contributed to this article. Authors are solely responsible for providing the final version of the article in print. The final version of the manuscript was approved by all authors.

***Correspondence:** E-mail: n1kolay19971997@yandex.ru

The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

© Stovbun N. S., Bogomolov L. M., 2025

© Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, 2025 (original layout, design, compilation)

Введение

В сейсмоактивных регионах Земли, где тектонические процессы и разломные структуры определяют динамику физических полей различной природы [1], мониторинг электротеллуричесого поля (ЭТП) вносит важный вклад в анализ этих процессов. В данных ЭТП часто фиксируются аномалии, которые предшествуют сейсмическим событиям [2–4]. Тенденцией работ последнего десятилетия стал значительный рост объема регистрируемых данных по вариациям электромагнитных (электротеллурического и геомагнитного) полей, а также повышение качества измерений [5, 6]. В этих работах как правило, исследовались вариации горизонтальных компонент ЭТП, а также геомагнитные вариации. Измерениям вертикальной компоненты ЭТП уделено значительно меньшее внимание. Тем не менее было установлено наличие вариаций вертикального электрического поля, вызванных деформационными (сейсмотектоническими) процессами в коре Камчатки [7–10]. Измерения напряженности электрического поля Ez проводились как в атмосфере, около дневной поверхности, так и в грунте. Для измерений в атмосфере использовали датчик напряженности электрического поля «Поле-2М» (ГГО им. А.И. Воейкова [11]). Измерения Ez в грунте проводили при помощи разнесенных по вертикали пластин – электродов площадью 0.25 м^2 по методике, разработанной Д.А. Кузнецовым [12]. Как показали работы камчатских геофизиков, применение датчиков для мониторинга электротеллурического поля позволяет, в значительной степени, подавить помехи, наводимые естественными (молнии, ионосферные возмущения) и техногенными (коммутация сильноточных разрядов) источниками. В этом отношении системы регистрации вертикального электрического поля Земли обладают преимуществом по сравнению с наиболее распространенными системами измерения горизонтальных компонент ЭТП (которые более восприимчивы к наводкам, так как неизбежно включают измерительный диполь, т.е. фактически «антенну»).

С учетом малого числа исследований вертикальной компоненты электротеллурического поля (ЭТП) и предполагаемую помехоустойчивость, выявленную в работах камчатских геофизиков, актуальным представляется изучение вариаций вертикального ЭТП в условиях сейсмичности юга о. Сахалин для оценки их связи с геодеформационным процессом и его сейсмическим проявлением. Задачей данной работы является исследование вариаций вертикальной компоненты ЭТП в разломных зонах в южной части о. Сахалин и анализ взаимосвязи с сейсмичностью в ближней зоне вокруг пунктов регистрации вертикального поля.

В декабре 2023 г. на Южно-Сахалинском геофизическом полигоне ИМГиГ ДВО РАН были начаты непрерывные измерения вертикального электрототеллурического поля с частотой 10 Гц. В ходе анализа данных ЭТП с января по ноябрь 2024 г. были выявлены возмущения с высоким уровнем напряженности поля по сравнению с фоновым значением за период наблюдения (максимальный в 35 раз, минимальный в 5 раз). Суммарно периоды повышенного

значения ЭТП занимали около половины всего времени регистрации и в эти периоды произошло 80% всех землетрясений южной части о. Сахалин за 11 месяцев 2024 г. (24 события из 30 с M≥3) [11]. Этот результат оказался значимым, и в конце 2024 года был установлен дополнительный измерительный пункт в западной части юга Сахалина в с. Колхозное (Невельский городской округ). Учитывая ввод в эксплуатацию нового пункта измерений и накопление новых данных, представляет интерес проанализировать вариации вертикальной компоненты ЭТП и выявить возмущения, которые могут быть ассоциированы с кратковременными изменениями сейсмичности.

Методика измерений

При проектировании систем электродов для измерения вертикального ЭТП учитывался подход, разработанный в конце 1980-х годов на Камчатке Д.А. Кузнецовым [12]. На станции ИМГиГ ДВО РАН (далее станция «Южно-Сахалинск») на глубине около 2 м были установлены две системы электродов, расположенные на расстоянии 10 м друг от друга. Каждая система (по сути, первичный преобразователь) состоит из трех пластин размером 50 × 50 см, расположенных друг под другом на расстоянии 50 см. Пластины изготовлены из нержавеющей стали. В качестве регистратора используется 8-канальный модуль аналогового ввода модели «ADAM-4017» (https://www.advantech.com/ru-ru/products/gf-5vtd/adam-4017), который находится в непосредственной близости к электродам, а с компьютером соединен линией RS-485. Измерения разности потенциалов осуществляется на верхней и средней пластине относительно нижней (каналы CH1, CH2, CH7, CH8). Для проверки работоспособности системы измерений проводилось тестовое зондирование посредством подачи прямоугольных импульсов напряжения (300 В, 5.5 А) на удаленный диполь (160 м от пластин) длиной 100 метров. Расчетные значения Ez (45–58 мкВ/м) были близки к фактически зарегистрированным значениям (46–80 мкВ/м), что подтвердило способность системы надежно регистрировать изменения вертикальной компоненты ЭТП. Более подробно методика измерений и проверка аппаратуры уже были изложены в первой работе [13].

Новый измерительный пункт в западной части о. Сахалин (далее станция «Колхозное») имеет идентичную методику измерений. Отличием является то, что в 5 метрах от каждой системы металлических пластин дополнительно были установлены две системы электродов, где вместо пластин были использованы свинцовые цилиндры высотой 3.5 см и диаметром 4.5 см. Таким образом, для станции «Колхозное» выходными данными являются 8 каналов измерений (CH1-CH4 для пластин, CH5-CH8 для свинцовых цилиндрических электродов). Расстояние между двумя станциями составляет 75 км.

В данной работе будут проанализированы данные ЭТП в период с 01.01.2024 по 18.08.2025 и их изменения во время сейсмических событий, которые произошли за этот период. Перед визуализацией временные ряды со всех станций

децимировались до 1 минуты. Данные со станции «Колхозное» предварительно фильтровались скользящим средним в двухнедельном окне, так как в данных присутствовали выраженные суточные вариации. Данные со станции «Южно-Сахалинск» использовались без предварительной фильтрации, так как имеют более стабильный уровень сигнала.

В качестве рабочего каталога использовался оперативный каталог землетрясений, сформированный на основе данных регионального информационного обрабатывающего центра (РИОЦ) «Южно-Сахалинск». Используется локальная шкала магнитуд (ML).

Результаты

Для анализа связи вариаций ЭТП с сейсмической активностью были рассмотрены землетрясения с магнитудой M $\geq$ 2, зарегистрированные в южной части о. Сахалин в 2024-2025 гг. в пределах прямоугольной зоны с координатами 47.8° с.ш., 145.6° в.д. – 45.6° с.ш., 139.9° в.д.

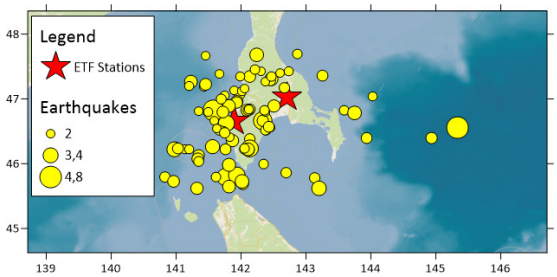


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений, произошедших на юге Сахалина с 01.01.2024 по 18.08.2024 (M $\geq$ 2)

Figure 1. Map of earthquake epicenters that occurred in southern Sakhalin from 01.01.2024 to 18.08.2024 (M $\geq$ 2)

На рис. 1 показано расположение эпицентров землетрясений. Всего за период наблюдений было зарегистрировано 92 сейсмических события, 40 за 2024 г. и 52 за январь-август 2025 г. Самое сильное сейсмическое событие 28.01.2025 имеет магнитуду 4.8. Предварительно для измерительных станций была определена условно ближняя зона в 50 км. Ее границы обоснованы самым слабым по амплитуде возмущением в данных ЭТП (длительность: 31.05.2024-16.06.2024), которое было описано в первой работе [13]. На момент его окончания выпало единственное в этот период сейсмическое событие 15.06.2024 (M=4.1) гипоцентр которого располагался в 49 км от станции «Южно-Сахалинск» [14]. Такое разделение позволит оценить вариации ЭТП не только во время всех землетрясений, но и во время близких сейсмических событий. Для станции «Южно-Сахалинск» таких землетрясений имеется 14. Например, гипоцентр ближайшего землетрясения произошел 01.08.2025 (M=2.4) в 22 км от станции, следующее в 24 км 25.09.2024 (M=2.8). Для станции «Колхозное» было выявлено

33 таких землетрясения. Для примера, ближайшее находится в 20 км (04.01.2025, M=3.6), следующее в 24 км 17.02.2025 (M=2.1).

В данных вертикального ЭТП выделяются периоды повышенного значения Ez (интервалы A, Ez 24-1042 мВ/м по каналам CH1, CH2, CH7, CH8) относительно фона, который варьируется в пределах 0-20 мВ/м. В предыдущей работе границы таких периодов выделялись по определенному алгоритму. Каждый канал фильтровался скользящим среднеквадратичным отклонением с окном в двое суток, далее высчитывалось медианное значение. Если отфильтрованное значение выходило за пределы медианного значения на более чем двое суток (одновременно на всех каналах), то фиксировалось начало роста. Возврат отфильтрованных значений в изначальный диапазон фиксировался как окончание возмущения. Суммарно за весь период наблюдений длительность интервалов A (повышенные значения Ez) составила 64% от длительности наблюдений. В предыдущей работе для станции «Южно-Сахалинск» производился анализ данных возмущений на предмет связи с метеорологическими параметрами. Коэффициент корреляции Пирсона между каналами станции «Южно-Сахалинск», скоростью ветра, атмосферным давлением и влажностью воздуха не превышает 0.3. Для температуры он составил 0.6, но при детальном анализе было выявлено, что корреляция присутствует на суточных интервалах, а недельные и месячные периоды роста Ez вариациями температуры не объясняются.

Рассмотрим вариации станции «Южно-Сахалинск» во время произошедших сейсмических событий.

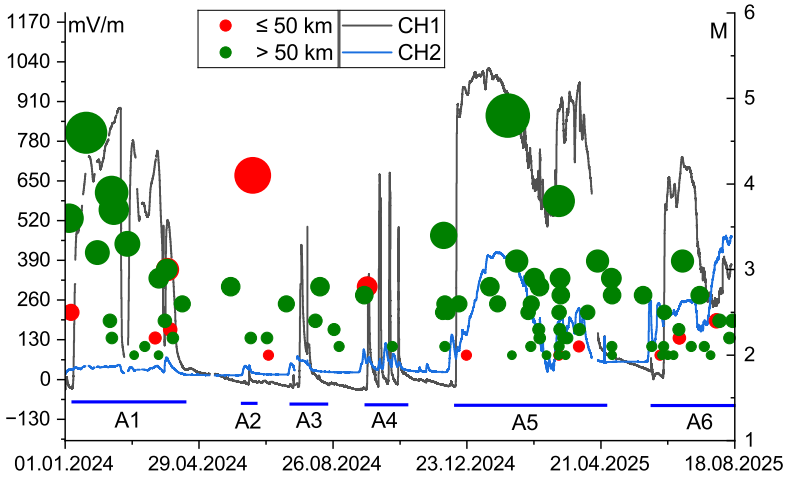


Рис. 2. Изменения напряженности поля Ez на каналах CH1, CH2 станции «Южно-Сахалинск» в период с 01.01.2024 по 18.08.2025 и произошедшие в этот период землетрясения (красные кружки). Шкала магнитуд показана на оси справа. Периоды A1-A6 (синие линии над осью времени) соответствуют повышенным значениям Ez

Figure 2. Changes of the Ez field strength on channels CH1, CH2 of the «Yuzhno-Sakhalinsk» station from 01.01.2024 to 18.08.2025 and earthquakes that occurred during this period (red circles). The magnitude scale is shown on the right axis. Periods A1-A6 (blue lines above the time axis) correspond to high Ez values

На рис. 2 представлен график данных по каналам CH1, CH2 станции «Южно-Сахалинск» в период с 01.01.2024 по 18.08.2025. На график наложены точки землетрясений, при этом красными точками нанесены события, попадающие в радиус 50 км о станции, а зеленые, выходящие за эту зону. На рис. 2 периоды повышенного значения Ez пронумерованы с A1 по A6. Самое короткое возмущение длительностью 17 суток Ez было зафиксировано в период 31.05.2024-16.06.2024 амплитудой 24-98 мВ/м (A2). Самое длительное длилось 134 суток в период 06.12.2024-18.04.2025 амплитудой 300-1042 мВ/м (A5). Последний рост Ez (A6) на момент данной работы является действующим и не закончен. В ходе анализа периодов A1-A6 и 92 сейсмических событий было выявлено, что 72 землетрясения произошли в периоды A1-A6, то есть 78% всех землетрясений. Что касается землетрясений в радиусе 50 км, то из 14 сейсмических событий на периоды A1-A6 выпадает 12 землетрясений, а именно 86% таких землетрясений. Остальные 2 не выпадающие землетрясения произошли 06.01.2024 (M=2.5) и 29.06.2024 (M=2) в 49 и 46 км о станции «Южно-Сахалинск» соответственно. Дополнительным наблюдением является то, что все самые сильные землетрясения из каталога так же происходят в периоды повышенного значения Ez. Это землетрясения 19.01.2024 (M=4.6, 90 км станции), 15.06.2024 (M=4.1, 49 км), 28.01.2024 (M=4.8, 215 км). Стоит упомянуть что присутствует возмущение A3, на период которого не происходят каких-либо значимых сейсмических событий.

Проведем такой же анализ, но с вариациями Ez для станции «Колхозное», а также сравним с данными станции «Южно-Сахалинск». На рис. 3a представлен график данных по каналу CH2 станции «Колхозное» в период с 01.01.2025 по 18.08.2025. График составлен по тому же принципу что и в рис. 2. Здесь представлены данные только по одному каналу, так как разница в амплитудах между каналами не позволяет построить их по одной оси. В данных станции «Колхозное» так же наблюдаются периоды повышенного значения Ez. Здесь выделяются два периода: январь-февраль и май-август. На данный момент отсутствуют строгие критерии определения границ данных изменений, так как получено только два периода роста, а алгоритм для станции «Южно-Сахалинск» хорошо работал для возмущений с резкими фронтами, как в A1-A6.

В ходе анализа сейсмических событий и данных станции «Колхозное» выявляется похожая картина, что и на рис. 2. Сейсмические события в радиусе 50 км разделены по двум группам: период 12.01.2025-18.03.2025 и 14.06-2025-16.08.2025, вблизи роста Ez. В первой группе находится 9 землетрясений, во второй 6. Между этими группами есть период (19.03.2025-28.04.2025), когда близких землетрясений не было, при этом в этот момент наблюдается понижение значение поля Ez.

Сравним вариации Ez между пластинами и свинцовыми электродами станции «Колхозное» и данные между двумя станциями. На рис. 3b представлены данные со станции «Колхозное» по каналам CH1 (пластина) и CH7 (свинцовый цилиндр) в период с 01.01.2025-18.08.2025. Можно заметить, что между графиками Ez, измеренного на пластинах и свинцовых электродах, имеется как сходство

(совпадение трендов, резкие синхронные изменения), так и отличие (интервал с противоположными трендами).

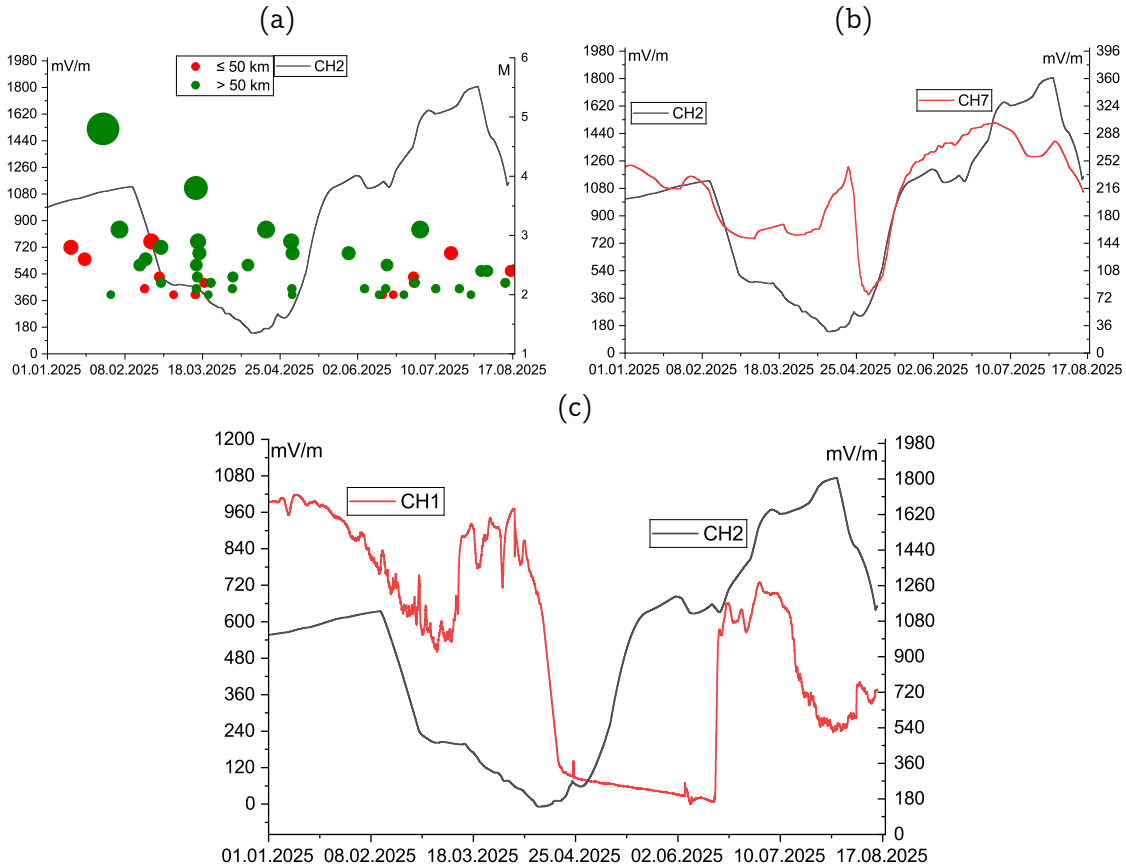


Рис. 3. (a) - Изменения напряженности поля Ez по каналу CH2 станции «Колхозное» и произошедшие в этот период землетрясения (отмечены точками); (b) – Временные зависимости Ez, измеренной по каналу CH2 (пластина) и CH7 (свинец) на станции «Колхозное»; (c) – График зависимости Ez, измеренной на станции «Южно-Сахалинск» (CH1) и «Колхозное» (CH2)

Figure 3. (a) - Changes in the Ez field strength on channel CH2 of the "Kolhoznoe"station and earthquakes that occurred during this period (marked by dots); (b) – Time dependencies of Ez measured on channel CH2 (plate) and CH7 (lead) at the "Kolhoznoe"station; (c) – Graph of the Ez dependence measured at the "Yuzhno-Sakhalinsk"station (CH1) and "Kolhoznoe"(CH2)

Коэффициент корреляции Пирсона между двумя записями Ez с электродов двух типов составляет 0.78. На рис. 3c представлены данные станций «Колхозное» (CH2) и «Южно-Сахалинск» (CH1) в период с 01.01.2025-18.08.2025. На двух станциях наблюдаются коррелирующие вариации со смещением во времени: станция «Колхозное» на два месяца опережает «Южно-Сахалинск». С 01.01.2025 на станции «Колхозное» наблюдается повышенное значение Ez которое идет на спад в феврале 2025. В данных станции «Южно-Сахалинск» с начала года также наблюдается высокое значение Ez, которое уменьшается в апреле. Уровень Ez на станции «Колхозное» снова повышается в конце апреля, а на станции «Южно-Сахалинск» только в конце июня.

Для оценки статистической значимости полученного результата использовался точный критерий Фишера [15]. В качестве нулевой гипотезы примем что выпадение 72 из 92 сейсмических событий на периоды A1-A6 является случайным. В качестве критического уровня значимости установим величину P-value (расчетный параметр теста Фишера) равной 0.05 (5 %). Параметры сопряженности для вычисления точного критерия Фишера следующие: на 394 суток периодов A1-A6 приходится 72 землетрясения, на 198 оставшихся суток – 20 событий. Вычисленное P-value для вероятности реализации нулевой гипотезы составляет 0.03, что ниже критического уровня значимости 0.05. Поэтому нулевую гипотезу следует отвергнуть, и принять альтернативную гипотезу – наличие статистически значимой связи между периодами A1-A6 и землетрясениями на юге Сахалина. Для сейсмических событий в радиусе 50 км вычисленное P-value составляет 0.16, что говорит, о том, что совпадения в ближней зоне может быть случайным. В предыдущей работе использовался каталог с M$\geq$3, а в настоящей - порог был понижен до M$\geq$2, что обосновано присутствием за период наблюдений землетрясений с M$\geq$2, гипоцентры которых располагаются вблизи измерительных станций. Представляет интерес проверить, сохраняется ли статистическая значимость, если выбрать из текущего каталога события с M$\geq$3. Для такой выборки расчет P-value для критерия Фишера дает 0.02, что подтверждает обобщение об увеличении сейсмической активности в периоды с повышенной напряженностью поля Ez. Также подтверждена неслучайность того, что количество сейсмических событий, накопленных в периоды с возросшей Ez существенно больше ожидаемого исходя из относительной продолжительности этих периодов.

Заключение

Результаты измерений вертикальной компоненты ЭТП на станциях «Южно-Сахалинск» и «Колхозное» позволили обнаружить периоды повышенного значения Ez. В эти периоды попадает большинство землетрясений, зарегистрированных в южной части о. Сахалин. В частности, для измерительной станции ЭТП «Южно-Сахалинск» это 72 из всех 92 событий с M $\geq$ 2 (78%), и 12 из 14 событий (86%) в ближней зоне радиусом 50 км. Статистическая значимость этого результата о взаимосвязи увеличения напряженности вертикального ЭТП с изменением сейсмической активности подтверждена точным критерием Фишера на доверительном уровне 95 %. Зависимости напряженности вертикального поля на станции «Колхозное» согласуются с данными со станции «Южно-Сахалинск» по части приуроченности активизации сейсмических событий в ближней зоне радиусом 50 км вокруг каждой станции в периоды с возросшей Ez. Сравнение записей Ez на двух станциях показало синхронизированные вариации, с временным сдвигом в 2 месяца (станция «Колхозное» опережает «Южно-Сахалинск»), что может отражать субрегиональные особенности сейсмического (геодеформационного) процесса. Анализ различия в сигналах ЭТП со стальных

пластин и свинцовых электродов (коэффициент корреляции Пирсона 0.78) подчеркивают, что конструкция и материал датчиков отражается на форме записей, тем не менее оба типа датчиков пригодны для регистрации изменений вертикальной компоненты ЭТП.

Благодарность. Работа выполнена с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (https://ckp-rf.ru/usu/507436/; http://www.gsras.ru/unu/).

Список литературы

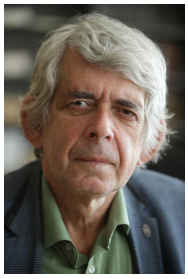
1. Адушкин В. В., Спивак А. А. *Физические поля в приповерхностной геофизике.* М.: Издательство ГЕОС, 2014. 360 с.
2. Salikhov N., Pak Galina, Shepetov A. L., Chubenko A. P., Zhukov Valeriy, Seifullina Botakoz. Hardware-software complex for the telluric current investigation in a seismically hazardous region of zailiysky alatau // Series of geology and technical sciences, 2021. vol. 5, no. 449, pp. 94–102 DOI: 10.32014/2021.2518-170x.103.
3. Papadopoulou K., Skordas E., Zlotnicki J., Nagao T., Rybin A. Study of Geo-Electric Data Collected by the Joint EMSEV-Bishkek RS-RAS Cooperation: Possible Earthquake Precursors // Entropy (Basel), 2018. vol. 20, no. 8, 614 DOI: 10.3390/e20080614.
4. Li M., Lu J., Parrot M., Tan H., Chang Y., Zhang X., Wang Y. Review of unprecedented ULF electromagnetic anomalous emissions possibly related to the Wenchuan MS = 8.0 earthquake, on 12 May 2008 // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2013. vol. 13, pp. 279–286 DOI: 10.5194/nhess-13-279-2013.
5. Луковенкова О. О., Малкин Е. И., Мищенко М. А., Солодчук А. А. Аномалии перед камчатскими землетрясениями (ML $\geq$ 4.75) в сигналах электромагнитного излучения и геоакустической эмиссии в 2013 году // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки, 2021. Т. 34, №1, С. 137-149 https://doi.org/10.26117/2079-6641-2021-34-1-137-149.
6. Мороз Ю. Ф., Мороз Т. А. Исследование динамики геоэлектрической среды по данным электротеллурического поля // Вулканология и сейсмология, 2009. №1, С. 39-48.
7. Купцов А. В., Марапулец Ю. В., Мищенко М. А., Руленко О. П., Шевцов Б. М., Щербина А. О. О связи высокочастотной акустической эмиссии приповерхностных пород с электрическим полем в приземном слое атмосферы // Вулканология и сейсмология, 2007. №5, С. 71-76.
8. Марапулец Ю. В., Руленко О. П., Мищенко М. А., Шевцов Б. М. Связь высокочастотной геоакустической эмиссии с электрическим полем в атмосфере при сейсмотектоническом процессе // Доклады АН, 2010. Т. 431, №2, С. 242-245.
9. Марапулец Ю. В., Руленко О. П., Ларионов И. А., Мищенко М. А. Одновременный отклик высокочастотной геоакустической эмиссии и атмосферного электрического поля на деформирование приповерхностных осадочных пород // Доклады АН, 2011. Т. 440, №3, С. 403-406.
10. Дружин Г. И., Марапулец Ю. В., Чернева Н. В., Исаев А. Ю., Солодчук А. А. Акустические и электромагнитные излучения перед землетрясением на Камчатке // Доклады АН, 2017. Т. 472, №5, С. 584-589.
11. Руленко О. П., Марапулец Ю. В., Мищенко М. А. Анализ проявления связи между высокочастотной геоакустической эмиссией и электрическим полем в атмосфере у поверхности земли // Вулканология и сейсмология, 2014. №3, С. 53-64 https://doi.org/10.7868/S0203030614030055.
12. Бобровский В. С. Распределенная сеть электрических измерений в приповерхностных грунтах и некоторые полученные результаты // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2016. №7-1, С. 129-138.
13. Стовбун Н. С., Закупин А. С., Богомолов Л М., Костылев Д. В., Дудченко И. П., Гуляков С. А. Вариации вертикальной компоненты электротеллурического поля на Южно-Сахалинском геофизическом полигоне в 2024 году // Геосистемы переходных зон, 2025. Т. 9, №2, С. 125-144 https://doi.org/10.30730/gtrz.2025.9.2.125-144.

14. Сафонов Д. А., Семенова Е. П., Костылев Д. В., Щукин М. А. Сейсмичность юга Дальнего Востока России в 2024 году // Геосистемы переходных зон, 2025. Т. 9, №2, С. 182-196 DOI: 10.30730/gtrz.2025.9.2.182-196.

15. Nelson M. Contingency tables, Chi-Squared test, and Fisher's exact test // Statistics in nutrition and dietetics, 2020. vol. 8 https://doi.org/10.1002/9781119541509.ch8.

Информация об авторах

Стовбун Николай Сергеевич – младший научный сотрудник отдела прибрежных и островных электроэнергетических систем, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Россия, 0009-0004-1927-798X.



Богомолов Леонид Михайлович – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, директор, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Россия, ORCID 0000-0002-9124-9797.

References

[1] Adushkin V. V., Spivak A. A. Physical fields in near-surface geophysics. M.: GEOS, 2014. 360 p. (In Russian).

[2] Salikhov N. M., Pak G. D., Shepetov A. L., Zhukov V. V., Seifullina B. B. Hardware-software complex for the telluric current investigation in a seismically hazardous region of Zailiysky Alatau. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, 2021, vol. 5 (449), pp. 94–102. DOI: 10.32014/2021.2518-170x.103

[3] Papadopoulou K., Skordas E., Zlotnicki J., Nagao T., Rybin A. Study of Geo-Electric Data Collected by the Joint EMSEV-Bishkek RS-RAS Cooperation: Possible Earthquake Precursors. Entropy (Basel), 2018. vol. 20, no. 8, p. 614 DOI: 10.3390/e20080614

[4] Li M., Lu J., Parrot M., Tan H., Chang Y., Zhang X., Wang Y. Review of unprecedented ULF electromagnetic anomalous emissions possibly related to the Wenchuan MS = 8.0 earthquake, on 12 May 2008. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2013. vol. 13, pp. 279–286 DOI: 10.5194/nhess-13-279-2013

[5] Lukovenkova O. O., Malkin E. I., Mishchenko M. A., Solodchuk A. A. Anomalies in electromagnetic and geoacoustic emission signals before Kamchatka earthquakes (ML$\geq$4.75) in 2013. Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki, 2021, vol. 34, no. 1, pp. 137–149. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-34-1-137-149 (In Russian).

[6] Moroz Yu. F., Moroz T. A. A study in the dynamics of the geoelectrical medium from electrotelluric field data. Journal of Volcanology and Seismology, 2009, vol. 3, no. 1, pp. 34–43. DOI: 10.1134/0742046309010047 (In Russian).

[7] Kuptsov A. V., Marapulets Yu. V., Mishchenko M. A., Rulenko O. P., Shevtsov B. M., Shcherbina A. O. On the relation between high frequency acoustic emissions in near-surface rocks and the electric field in the near-ground atmosphere. Journal of Volcanology and Seismology, 2007, vol. 1, no. 5, pp. 349–353. DOI: 10.1134/0742046307050077 (In Russian).

[8] Marapulets Yu. V., Rulenko O. P., Mishchenko M. A., Shevtsov B. M. Relationship of high-frequency geoacoustic emission and electric field in the atmosphere in seismotectonic process. Doklady Earth Sciences, 2010, vol. 431, part 2, pp. 522–525. DOI: 10.1134/S1028334X10030207 (In Russian).

[9] Marapulets Yu. V., Rulenko O. P., Larionov I. A., Mishchenko M. A. Simultaneous response of high-frequency geoacoustic emission and atmospheric electric field to deformation of near-surface sedimentary rocks. Doklady Earth Sciences, 2011, vol. 440, part 1, pp. 1336–1339. DOI: 10.1134/S1028334X11090285 (In Russian).

[10] Druzhin G. I., Marapulets Yu. V., Cherneva N. V., Isaev A. Yu., Solodchuk A. A. Acoustic and electromagnetic emissions preceding the earthquake in Kamchatka. Doklady Earth Sciences, 2017, vol. 472, no. 2, pp. 215–219. DOI: 10.1134/S1028334X17020118. DOI: 10.1134/1028334X17020118 (In Russian).

[11] Rulenko O. P., Marapulets Yu. V., Mishchenko M. A. An analysis of the relationships between high-frequency geoacoustic emission and the electric field in the atmosphere near the ground. Journal of Volcanology and Seismology, 2014, vol. 8, no. 3, pp. 180–190. DOI: 10.1134/S0742046314030051 (In Russian).

[12] Bobrovsky V. S. Distributed network of electric measurements in near-surface soils and some results obtained. Proceedings of Tula State University. Technical Sciences, 2016, no. 7-1, pp. 129–138(In Russian).

[13] Stovbun N. S., Zakupin A. S., Bogomolov L. M. et al. Variations in the vertical component of the electrotelluric field at the Yuzhno-Sakhalinsk geophysical test site in 2024. Geosystems

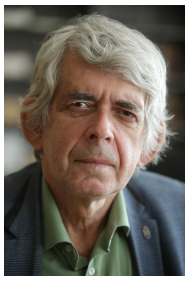
of Transition Zones, 2025, vol. 9, no. 2, pp. 125–144. DOI: 10.30730/gtrz.2025.9.2.125-144 (In Russian).

[14] Safonov D.A., Fokina T.A., Kostylev D.V. Seismicity of the Amur and Primorye, Sakhalin and the Kuril-Okhotsk region in 2020. Earthquakes in Northern Eurasia. 2024. vol. 27(2020). pp. 148–161. DOI: 10.35540/1818-6254.2024.27.13 (In Russian).

[15] Nelson M. Contingency tables, Chi-Squared test, and Fisher's exact test. In: Statistics in nutrition and dietetics. 2020. Chapter 8. DOI: 10.1002/9781119541509.ch8

Information about the authors

Stovbun Nikolay Sergeevich – Gunior Researcher at the Department of Coastal and Island Electric Power Systems, Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, ORCID 0009-0004-1927-798X.



Bogomolov Leonid Mikhailovich – Dr. Sci. (Phys. & Math.) Chief Researcher, Director, Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, 0000-0002-9124-9797.