

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДВОДНОГО ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО КАБЕЛЯ JASC ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

С.С. Старжинский,
В.М. Никифоров, В.И. Пономарёв

Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток

Рассматривается возможность исследования с помощью подводного кабеля JASC интегрального режима течений в Японском море на фоне интенсивных помех, вызываемых геомагнитными вариациями. На основе анализа корреляционных связей между вариациями напряжений на кабеле JASC (Japan Sea Cable, Находка-Наоецу) и геомагнитными вариациями на 6-тилетнем интервале наблюдений отмечается, что низкие значения когерентностей между ними благоприятствуют выделению эффекта течений в наблюденных данных. В работе использован корреляционный алгоритм выделения некоррелированной (с геомагнитными вариациями) части записей напряжений на кабеле. На основе натуральных экспериментов показана возможность исследования гидродинамики Японского моря с помощью подводного кабеля JASC.

ВВЕДЕНИЕ

Для последних десятилетий характерно широкое использование выведенных из эксплуатации подводных аналоговых телекоммуникационных кабелей для проведения геофизических экспериментов [1-6]. При этом измеряются вариации разности электрических потенциалов между заземлениями на концах кабеля. Общеизвестно, что источниками этих вариаций являются:

1) электрические токи, текущие в океанах и на континентах и индуцированные магнитными полями токовых систем ионосферы и магнитосферы Земли;

2) океанические течения проводящей морской воды в постоянном магнитном поле Земли, приводящие в действие механизм электрического динамо, генерирующего электрические напряжения;

3) теллурические токи земного динамо, выходящие к поверхности и регистрируемые при больших разностях между заземлёнными электродами.

Последнее условие выполнимо только при использовании подводных кабелей длиной сотни и тысячи километров. Наибольшие амплитуды вариаций присущи первым двум источникам, в то время как выделение низкоамплитудных электри-

ческих вариаций, вызываемых процессами, протекающими в земном ядре, предполагает их выделение на фоне интенсивных колебаний от первых двух источников [7, 8]. Электрические вариации, индуцируемые в Земле внешними токовыми системами и магнитные поля, их сопровождающие, используются для исследования электрической проводимости глубинных слоёв под океанами посредством выполнения магнитотеллурических зондирований [9-11]. Выделение вклада в электрические вариации, обусловленного морскими течениями, позволяет проводить мониторинг крупномасштабного массопереноса вод в морях и океанах [2, 12]. Для проведения подобных исследований необходимо разделить ионосферную и гидродинамическую составляющие в регистрируемых вариациях разностей потенциалов, что с учётом перекрывающихся частотных диапазонов этих источников требует выполнения детального анализа структуры регистрируемых сигналов. Ситуация осложняется и наличием длиннопериодных трендов в собственных потенциалах поляризации металлических электродов, обычно используемых для заземлений в морской воде, на что было обращено внимание в работах [13, 14, 4]. В связи с тем что металлические заземления морских кабелей с разнесением в сотни километров и более установлены на разных глубинах и находятся в точках водной толщи с различными температурами, солёностями и давлениями, необходимо учитывать также дополнительные паразитные наводки в электрических потенциалах, вызванные нестабильностью этих параметров. Ранее выполненные исследования [15, 3] по выделению гидродинамической составляющей в вариациях, наблюденных на

кабеле JASC, основывались на зарегистрированных реализациях не более двух лет. Настоящее исследование опирается на шестилетние реализации, полученные на временном интервале 7.02.1997 – 21.10.2002 с дискретностью измерений 1 с (более поздние данные находятся в стадии редактирования). Для выделения эффекта морских течений привлекаются данные наблюдений за приливными вариациями в Японском море, а также вариации геомагнитного поля на удалённых и расположенных вблизи кабеля JASC магнитных обсерваториях. Для устранения интенсивной ионосферной составляющей, коррелированной с магнитными вариациями, используется специальная процедура.

■ Проведение эксперимента

Морской коммуникационный кабель JASC (Japan Sea Cable) Находка–Наоцу, пересекающий Японское море, был проложен в 1969 г. и выведен из эксплуатации и предоставлен для проведения научных экспериментов компанией РОСТЕЛЕКОМ в 1996 г. Расположение кабеля показано на рис. 1.

Коаксиальный кабель с центральным медным проводником диаметром 8 мм и 28 репитерами был подготовлен для проведения измерений вариаций естественных разностей потенциалов. Для этого с японской стороны он был усечён на расстоянии от берега, обеспечивающем заглубление оканчивающего центральный проводник титанового заземления на глубине 1,5 км в точке с координатами $37^{\circ}40,2' N$, $137^{\circ}58,8' E$ [15]. С российской стороны на береговой станции, располага-

ющейся в 5 км от побережья, он был отсоединён от аппаратуры и подготовлен для проведения измерений. Для заземления у российского побережья задействовалось морское прибрежное заземление ($42^{\circ}48' N$, $132^{\circ}48,7' E$) на глубине около 15 м, которое ранее использовалось для питания работающей аппаратуры постоянным напряжением 800 В. Расстояние между заземлениями, определённое по их координатам, равно 718 км. Конструктивно прибрежное заземление выполнено четырьмя титановыми стержнями длиной ~15 см и диаметром ~1,5 см, разнесёнными на расстояние ~15 см один от другого на изолирующем основании в бетонном кожухе. Каждый стержень соединён изолированным медным проводом диаметром 2 мм со станцией, где все жилы были соединены вместе и заведены на вход регистрирующей аппаратуры [14].

■ Подготовка данных

Полученные в результате измерений данные содержали выбросы и пропуски, и поэтому они были подвергнуты редакции для того, чтобы получить непрерывную шестилетнюю реализацию с дискретностью 1 с. Затем эта реализация подвергалась цифровой фильтрации со считыванием последовательных часовых файлов с магнито-оптического накопителя. Идентификация пропусков и выбросов осуществлялась программно по экстремальным значениям, записываемым в файлы в моменты их возникновения. Единичные выбросы, вызываемые действием помех и грозовых разрядов, заполнялись значениями, интерполируемыми по предшествующим отсчётам с использованием интерполяционной процедуры Ньютона–Грегори [16], применяемой к исходным часовым файлам. Для заполнения относительно

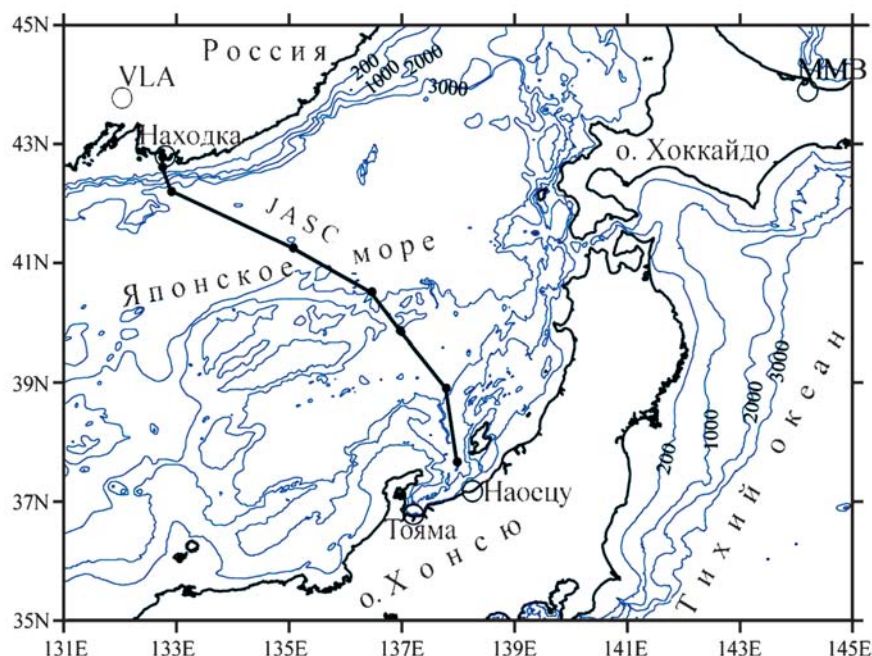


Рис. 1. Расположение подводного телекоммуникационного кабеля JASC. VLA – обсерватория Владивосток, MMB – обсерватория Мемамбецу. Глубины моря указаны в метрах

длительных пропусков в данных, вызванных сбоями аппаратуры и пропаданием питающего напряжения в сети, исходная 6-летняя реализация подвергалась прореживанию после низкочастотной фильтрации с периодом отсечки, определяемым целями последующей обработки. В прореженной реализации пропущенные отсчёты определялись по их экстремальным значениям и для их заполнения, применялась процедура их предсказания по выбираемому интервалу предшествующих значений, позволяющему рассчитать весовые коэффициенты фильтра ошибки предсказания [17, 18]. Выбранный подход позволяет редактировать и прореживать сколь угодно длительные исходные реализации, получая файлы необходимой длительности для последующей цифровой обработки.

■ Спектральный анализ данных JASC за 6-летний период

Для выполнения спектрального анализа данных с кабеля JASC после низкочастотной фильтрации и прореживания исходной реализации была получена последовательность среднечасовых значений вариаций разности потенциалов с дискретностью 1 ч и числом отсчётов 49992. Для исследования корреляционных связей между вариациями магнитного поля и данных с кабеля с сайта <http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html> были получены реализации среднечасовых значений трёх компонент вариаций геомагнитного поля на близлежащей обсерватории Мемамбецу (ММВ) для того же самого временного интервала. Так как кабель проложен в общем направлении около 40° с.ш., то

горизонтальные компоненты магнитных вариаций были пересчитаны к системе координат, повернутой на этот угол относительно исходной. Таким образом, последующий анализ производился в правой системе координат с осью Y, параллельной региональной береговой черте, осью X, перпендикулярной к ней, и осью Z, направленной вертикально вниз. Спектры рассчитывались по алгоритму быстрого преобразования Фурье с дополнением исходных

последовательностей нулями до ближайшей степени двойки. С учётом этого шаг по частоте без сглаживания получаемых спектров составлял $\sim 0,00037$ циклов/день. Полученные в результате амплитудные спектры вариаций трёх компонент геомагнитного поля и вариаций разности электрических потенциалов с кабеля JASC представлены на рис. 2, а-г. Во всех спектрах преобладают солнечно-суточные гармоники $S_1 - S_8$ и приблизительно на порядок

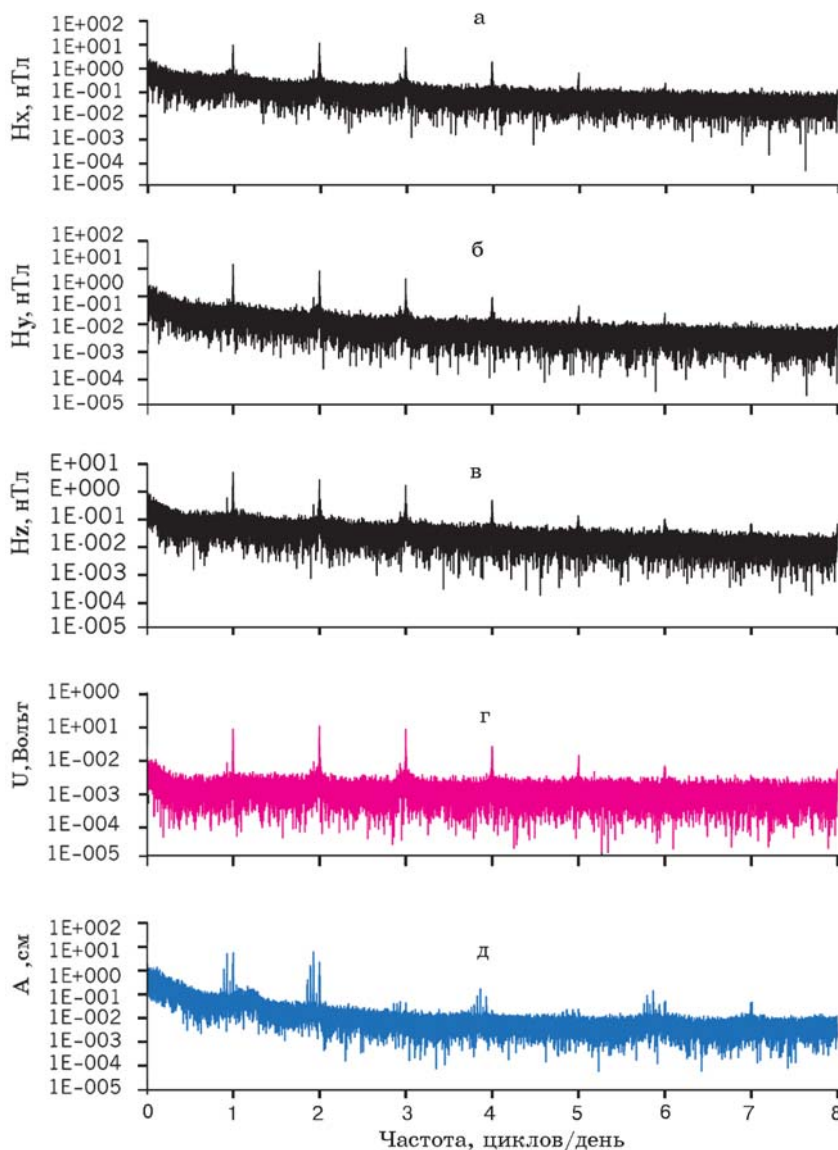


Рис. 2. Амплитудные спектры трёх компонент H_x , H_y , H_z вариаций геомагнитного поля на обс. Мемамбецу (а, б, в), вариаций электрических напряжений на кабеле (г) и колебаний уровня моря на японской приливной станции Тояма (д)

менее интенсивные лунные гармоники O_1 , L_2 , L_3 с примерно равными амплитудами на кабеле, что можно видеть из сжатого представления спектров на рис. 2. В дальнейшем будем рассматривать только эти гармоники, так как их величина превышает окружающий шумовой фон более чем в 2 раза и их можно надёжно выделить в спектрах. Аналогичного вида спектры наблюдаются и на континентальных кабелях, например, такие как представленные в работах [19, 20], характеризующиеся малостью лунно-суточных гармоник по сравнению с солнечно-суточными. В то же время спектры, получаемые на некоторых морских кабелях, выявляют большую величину лунной полусуточной гармоники L_2 , соизмеримой со второй солнечной гармоникой S_2 , что, несомненно, свидетельствует о вкладе океанического динамо в вариации электрических разностей потенциалов, регистрируемых на подводных кабелях. Приливные течения в океанах и морях, возбуждаемые наиболее мощной лунной приливной волной M_2 , вследствие действия механизма океанического динамо генерируют значительные по величине электрические поля в водной толще, что и наблюдается на некоторых подводных кабелях [13, 21]. Эта тенденция не просматривается на кабеле JASC, на котором приливная гармоника M_2 в электрическом поле отсутствует. Используемые 6-летние реализации позволяют разрешить в спектрах вариаций напряжений и в спектрах геомагнитных вариаций сезонные изменения амплитуд лунной полусуточной волны, наблюдаемые на частотах $f_{M_{2_1}} = 1,927417$, $f_{M_{2_2}} = 1,929536$, $f_{M_{2_3}} = 1,932126$, $f_{M_{2_4}} = 1,935011$ цикла/день вблизи частоты

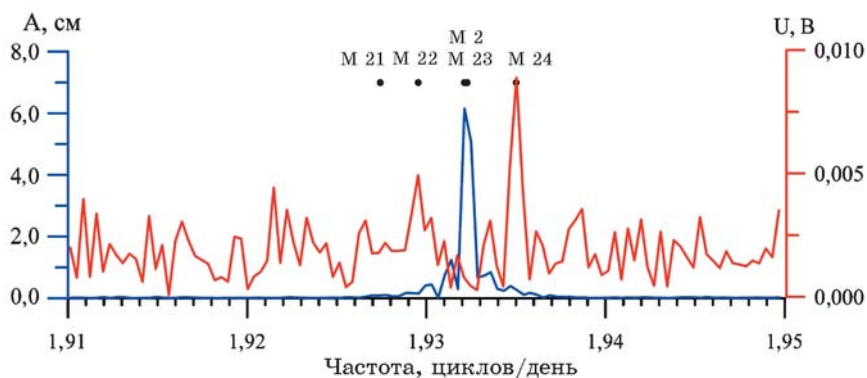


Рис. 3. Детальные амплитудные спектры вариаций электрических напряжений на кабеле (красная линия) и вариаций уровня Японского моря на станции Тояма (синяя линия) в области приливной гармоники M_2

$f_{M_2} = 1,932274$ цикла/день главной гравитационной волны M_2 [22]. Используемая длина реализации не позволяла разрешать только частоты $f_{M_{2_3}}$ и f_{M_2} , имеющие максимальные амплитуды по сравнению с другими тремя частотами с примерно равными и на один, два порядка меньшими амплитудами. При детальном рассмотрении спектра с кабеля JASC вблизи частоты f_{M_2} обнаруживается (рис. 3), что пик на самом деле наблюдается на частоте $f_{M_{2_4}}$, несколько большей частоты f_{M_2} . Для подтверждения этого на рис. 3 приводится спектр вариаций уровня моря на японской приливной станции Тояма. Спектр представлен в том же самом частотном диапазоне и рассчитан по среднечасовым данным, полученным с сайта <http://www.jodc.go.jp/data/tide/sea-level.html> для того же шестилетнего интервала. Из рис.3 видно, что в спектре напряжений на кабеле частота f_{M_2} отсутствует. Пик в спектре вариаций напряжений на кабеле левее спектрального пика S_1 проявляется на частоте приливной гармоники O_1 , амплитуда которой примерно в 2,5 раза меньше амплитуды гармоники M_2 . При этом надо заметить, что так как гармоника O_1 ($f_{O_1} = 0,9295357$ цикла/день)

регистрируется и на континентах, то нельзя полагать, что она вызвана приливными движениями морской воды. Аналогичным образом при детальном рассмотрении спектра левее гармоники S_3 выявляется пик на частоте $f_{L_3} = 2,932274$ цикла/день.

Принимая во внимание примерно равную величину наблюдаемых спектральных пиков и то, что амплитуда гравитационной гармоники M_2 более чем в 2 раза больше гармоники O_1 , следует допустить, что наблюдаемый на кабеле JASC спектральный пик на частоте $f_{M_{2_4}}$ обусловлен особенностями приливной динамики вод Японского моря. Так как разность потенциалов ΔU , регистрируемая на кабеле, определяется как

$$\Delta U = L \cdot H_z \cdot V, \quad (1)$$

где H_z – вертикальная компонента постоянного магнитного поля Земли, а V – проинтегрированная по глубине моря и взвешенная скорость течения морской воды, то характер изменения ΔU будет определяться видом зависимости V , т. е. скоростным режимом вод моря, возбуждаемым приливными гармониками. Так как нет данных длительной регистрации скоростного режима, то можно

сослаться на результаты подобного эксперимента, описанного в работе [26]. Длительная регистрация вариаций уровня моря и скоростей течений на шельфе Флориды, показала, что полусуточные приливные гармоники возбуждают более высокочастотные вариации скоростей течений (период 10 ч), т. е. спектр скоростей течений сдвигается в область более высоких частот по сравнению со спектром колебаний уровня моря. Учитывая этот результат можно полагать, что и в нашем случае пик в спектре напряжений на кабеле на частоте f_{M2_4} также вызван особенностями динамики вод Японского моря.

Выделение компоненты, обусловленной течениями

Возможность выделения длиннопериодной гидродинамической составляющей с периодами, превышающими 1 сут, исследована в работах [23, 12] на основе теоретических расчётов и анализа натуральных экспериментов. При этом основным критерием для выделения гидродинамической составляющей является отсутствие корреляции между вариациями электрических напряжений на кабеле и геомагнитными вариациями в этой области периодов. Для подтверждения этой возмож-

ности для кабеля JASC были рассчитаны функции обычной когерентности между вариациями напряжений и вариациями горизонтальных компонент геомагнитного поля на обсерватории MMB, представленные на рис. 4.

Из этих данных видно, что область периодов, больших 5 дней, характеризуется высокими когерентностями между горизонтальными компонентами магнитного поля и низкими когерентностями между ними и вариациями напряжений на кабеле. В этом отношении поведение кабеля JASC диаметрально отличается, например, от кабеля HAW-1 длиной 3900 км, проложенного между Гавайскими островами и Калифорнией и характеризующегося высокими когерентностями между вариациями напряжений и вариациями магнитного поля [24]. Подобное поведение когерентностей свидетельствует о наличии в вариациях напряжений на кабеле JASC компоненты, возбуждаемой течениями или нестабильностями собственных потенциалов титановых электродов. Из анализа когерентностей следует, что для исследования динамики вод Японского моря в области периодов, больших 5 дней, необходимо выделить в вариациях напряжений на кабеле JASC компоненту, не коррелированную с вариациями магнитного поля. Обычно

для этого используется робастное сглаживание скользящим средним зарегистрированных вариаций напряжений на дневных и месячных интервалах [3] в предположении, что вклад ионосферной компоненты на частотах ниже частоты основной гармоники солнечно-суточных вариаций мал. Другой подход заключается в использовании факта высокой когерентности ионосферной компоненты в вариациях напряжений с вариациями геомагнитного поля и её подавлении в частотной области. Во временной области применяется адаптивная фильтрация, позволяющая подавлять ионосферную компоненту в предположении, что вариации магнитного поля не содержат компоненты, обусловленной течениями в длинноволновой области [12]. В отличие от выше упомянутых алгоритмов для выделения когерентной ионосферной компоненты и её подавления в данной работе использованы идеи поляризационной фильтрации временных рядов, изложенные в работе [25] и оперирующие мерой поляризации анализируемых сигналов в частотной области. В отличие от последней для выделения когерентной части сигнала нами использовалась функция обычной когерентности G_{UH_y} между вариациями напряжений на кабеле U и вариациями перпендикулярной к нему компоненты магнитного поля H_y , определяемой как

$$G_{UH_y}^2(f) = \frac{|S_{UH_y}(f)|^2}{S_{UU}(f) \cdot S_{H_yH_y}(f)} \quad (2)$$

Здесь f – частота, S_{UU} и $S_{H_yH_y}$ – автоспектры соответствующих каналов, а S_{UH_y} – взаимный спектр, который рассчитывается как

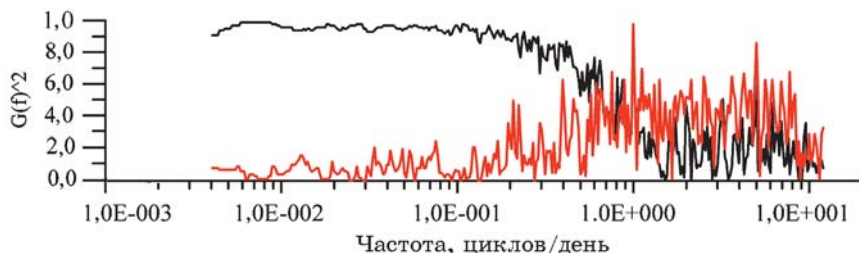


Рис. 4. Квадрат функций обычной когерентности между горизонтальными компонентами вариаций магнитного поля (чёрная линия) и между вариациями напряжений на кабеле и вариацией Ну-компоненты геомагнитного поля (красная линия)

$$S_{UH_y}(f) = \overline{S_U(f) \cdot S_{H_y}^*(f)} \quad (3)$$

с использованием спектров Фурье исходных реализаций, заданных на интервале T :

$$S_U(f) = \int_{-T/2}^{T/2} U(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt. \quad (4)$$

Здесь звёздочка (*) означает комплексное сопряжение, а черта сверху указывает на усреднение в узкой частотной полосе. Аналогичным образом рассчитываются и автоспектры, только при этом нижние индексы в (3) должны быть одинаковыми. Область значений функции обычной когерентности $0 \leq G \leq 1$. При $G_{UH_y} = 1$ между процессами U и H_y существует линейная связь, а при $G_{UH_y} = 0$ они полностью некоррелированы. Таким образом, функция обычной когерентности служит мерой коррелированности двух процессов, и тогда величина $G_{UH_y}(f) \cdot S_U(f)$ будет определять коррелированную с магнитными вариациями часть напряжений на кабеле, а величина $(1 - G_{UH_y}(f)) \cdot S_U(f)$ – некоррелированную. Для выделения

$$U_n(t) = \text{Re} \left\{ \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{+\infty} (1 - G_{UH_y}(f))^m \cdot S_U(f) \cdot e^{i2\pi ft} df \right\}, \quad (5)$$

где Re – реальная часть выражения, T – длина реализации, а $m \geq 1$ – небольшое целое положительное число, увеличивающее селективные свойства первого подынтегрального множителя в выражении (4). При расчётах использовалось эмпирически подобранное значение $m = 4$. Расчёт некоррелированной части в вариациях горизонтальных компонент магнитного поля по (5) давал её значения ниже реальной чувствительности аппаратуры, что

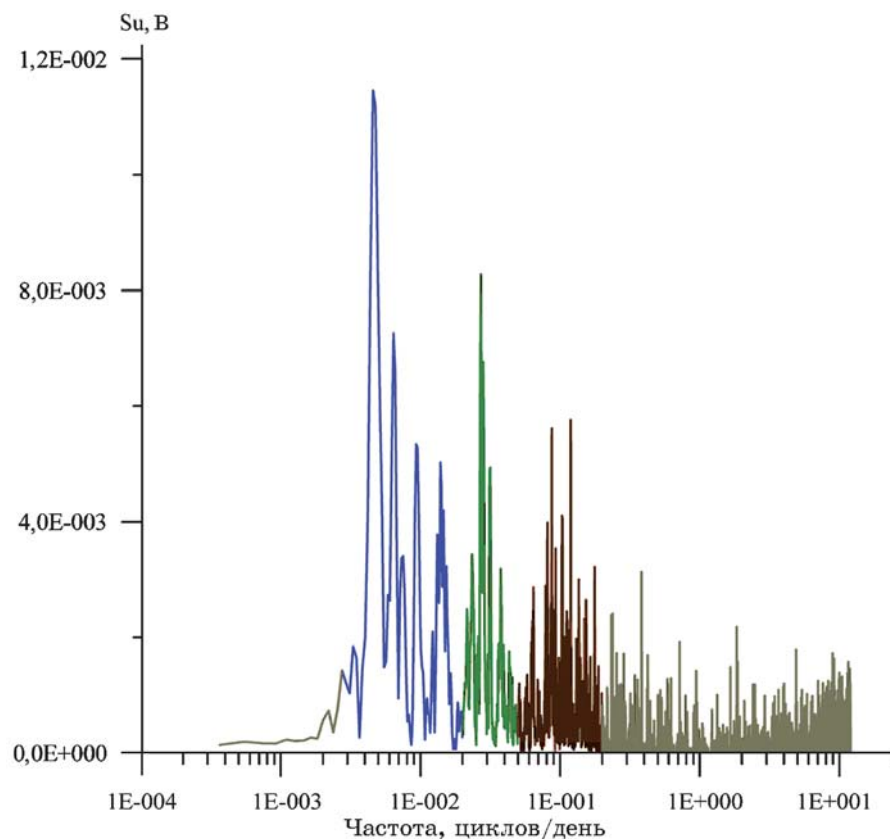


Рис. 5. Амплитудный спектр не коррелированной с геомагнитными вариациями части электрических напряжений на кабеле JASC. Цветами выделены полосы частот, вырезаемые полосовыми фильтрами: 0,00274 – 0,02; 0,02 – 0,05; 0,05 – 0,2 цикла/день (голубой, зелёный и синий цвета соответственно)

некоррелированной с магнитной вариацией части напряжений на кабеле U_n выполним обратное преобразование Фурье:

лишний раз свидетельствует о высокой когерентности этих компонент. Амплитудный спектр не коррелированной с магнитными вариациями части напряжения на кабеле представлен на рис. 5. Первое, что можно отметить, сравнивая спектры на рис. 2,г и рис. 5, – это то, что в полученных спектрах солнечно-суточные гармоники полностью подавлены. В низкочастотной части полученного спектра выделяются три частотных полосы с мак-

симальными амплитудами. Это полосы частот 0,00274 – 0,02; 0,02 – 0,05; 0,05 – 0,2 циклов/день. Максимальный пик на периоде 208 дней наблюдается вблизи полугодового периода, в то время как годовой и полугодовой периоды полностью подавлены ввиду наличия этих периодичностей в вариациях магнитного поля. В низкочастотной полосе выделяются и другие спектральные пики на периодах 150, 128, 103 и 94 дня. В средней полосе частот максимальные по величине спектральные пики проявляются вблизи месячных периодов. Повышенные спектральные амплитуды просматриваются и на периодах 8 – 16 дней. Чтобы получить временные зависимости напряжений на кабеле, вызванные течениями в этих частотных интервалах, была

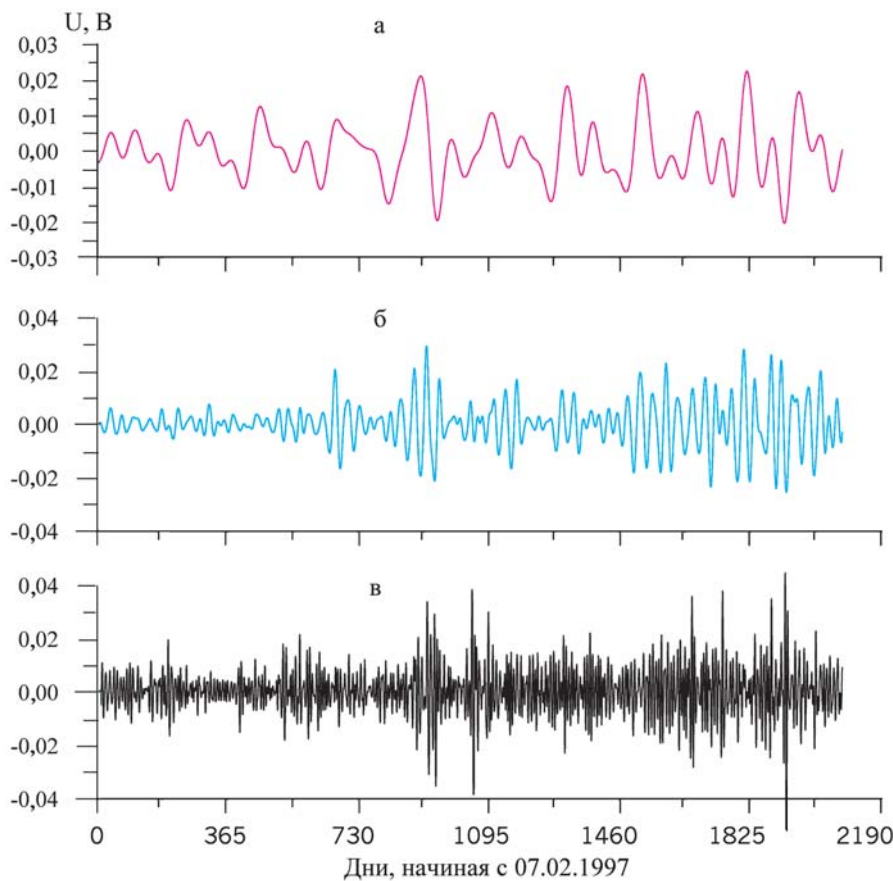


Рис. 6. Временной вид вариаций электрических напряжений на кабеле JASC, вызванных течениями вод Японского моря в трёх частотных диапазонах, определённых в подпериод к рис. 5

выполнена полосовая цифровая фильтрация полученной реализации в выделенных выше частотных диапазонах. Три полученные реализации для этих частотных диапазонов представлены на рис. 6. Обоснованность применения подобной процедуры для выделения длиннопериодных гидродинамических составляющих в вариациях разностей потенциалов с кабеля JASC на фоне интенсивной ионосферной компоненты подтверждается результатами двухлетней регистрации вертикальной компоненты электрического поля в оз. Байкал на разносе электродов 2 км [27]. При подобном расположении электродов горизонтальные течения воды будут генерировать вертикальную компо-

ненту электрического поля, а вклад ионосферной компоненты будет минимальным, что и подтвердилось в результате эксперимента. Сравнивая спектры вертикальной компоненты электрического поля в оз. Байкал со спектрами некоррелированной с магнитными вариациями части напряжения на кабеле JASC, можно выделить пики на близких частотах, не характерных для ионосферных источников.

Так, в обоих спектрах выделяется пик вблизи периодов 90 и 150 дней, что подтверждает возможность использованной нами процедуры для выделения гидродинамической компоненты в записях вариаций напряжений на кабеле JASC. Результаты обоих экспериментов указывают на необходи-

мость выполнения в Японском море регистрации вариаций вертикальной компоненты электрического поля автономными станциями с разносами электродов 1-3 км по типу использованных в эксперименте на оз. Байкал.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный анализ когерентностей между вариациями напряжений на кабеле JASC и вариациями геомагнитного поля показал, что малые значения когерентностей на периодах, превышающих первые сутки, благоприятствуют выделению гидродинамической компоненты из наблюдаемых данных. Путем сравнения существующих методик выделения эффекта морских течений предложен алгоритм селекции длиннопериодной не коррелированной с геомагнитными вариациями компоненты в электрических напряжениях на кабеле. В рассчитанных спектрах некоррелированной компоненты выявляются спектральные пики на частотах, близких к характерным частотам, которые были выделены в результате натурального эксперимента на оз. Байкал с установкой, исключающей значительный вклад ионосферного источника. В области частот гравитационной гармоники M_2 в спектрах вариаций напряжений отмечен сдвиг основного спектрального пика в область более высоких частот по отношению к спектральному пику в вариациях уровня моря, что может быть вызвано, согласно долговременным наблюдениям за уровнем моря и течениями, особенностями скоростного режима течений Японского моря.

ЛИТЕРАТУРА

1. Meloni A., Lanzerotti L.J., Gregory G.P. Induction of Currents in long Submarine Cables By natural Phenomena // *Rev. Geophys. and Space Phys.* 1983. V. 21, № 4. P. 795-803.
2. Spain P. and Sanford T. Accurately monitoring the Florida Current with motionally induced voltages // *J. Mar. Res.* 1987. V. 45, № 4. P. 843-870.
3. Пальшин Н.А., Ваньян Л.Л., Меджитов Р.Д., Шапиро Г.И., Евдошенко М.А., Утада Х., Шимицу Х., Танака Ю. Использование подводного кабеля Находка–Наоетцу для изучения временной изменчивости интегрального переноса водных масс в Японском море // *Океанол.* 2001. Т. 41, № 3. С. 466-473.
4. Nolasco R., Soares A., Dias J.M., Santos F.A.M., Palshin N.A., Represas P. and Vaz N. Motional induction voltage measurements in estuarine environments: the Ria de Aveiro Lagoon (Portugal) // *Geophys. J. Int.* 2006. V. 166. P. 126-134.
5. Lanzerotti L.J., Sayres C.H., Medford L.V., Kraus J.S., MacLennan C.G. Earth potential over 4000 km between Hawaii and California // *Geophys. Res. Lett.* 1992. V. 19, № 11. P. 1177-1180.
6. Lanzerotti L.J., Thomson D.J., Meloni A., Medford L.V., and MacLennan C.G. Electromagnetic Study of the Ftlantic Continental Margin Using a Section of a Transatlantic Cable // *J. Geophys. Res.* 1986. V. 91, № B7. P. 7417-7427.
7. Shimizu H., and Utada H. Detectability of decadal variations of the surface electric potential generated by zonal oscillating flows in Earth's core // *The 3rd international Workshop on Scientific Use of Submarine Cable and Related Technologies.* Tokyo. IEEE. 2003. 315 p.
8. Shimizu H., Koyama T., and Utada H. An Observational constraint on the strength of the toroidal magnetic field at the CMB by time variation of submarine cable voltages // *Geophys. Res. Lett.* 1998. V. 25. P. 4023-4026.
9. Ваньян Л.Л., Пальшин Н.А., Семёнов В.Ю., Уинч Д. Глубинное магнитотеллурическое зондирование с использованием подводного кабеля Австралия-Новая Зеландия // *Физика Земли.* 1994. № 9. С. 94-96.
10. Lizarralde D., Chave A., Hirth G., Schultz A. Northeastern Pacific mantle conductivity profile from long-period magnetotelluric sounding using Hawaii-to-California submarine cable data // *J. Geophys. Res.* 1995. V. 100, № B9. P. 17,837-17,854.
11. Santos F.A.M., Soares A., Nolasco R., Rodrigues H., Luzio R., Palshin N. and ISO-3D team. Litosphere conductivity structure using the CAM-1 (Lisbon-Madeira) submarine cable // *Geophys. J. Int.* 2003. V. 155. P. 591-600.
12. Luther D.S., Filloux J.H., Chave A.D. Low-Frequency, Motionally Induced Electromagnetic Fields in the Ocean 2. Electric Field and Eulerian Current Comparison // *J. Geophys. Res.* 1991. V. 96, № C7. P. 12,797-12,814.
13. Santos F.A.M., Soares A., Trindade L., Nolasco R., Rodrigues H., and ISO-3D team. Voltage measurements over the CAM-1 submarine cable between Madeira Island and Portugal mainland // *Earth Planets Space.* 2002. V. 54. P. 393-398.
14. Starjinsky S.S., Nikiforov V.M. On the submarine communication cable JASC ground self-potential stability // *Earth Planets Space.* 2005. V. 57. P. 903-906.
15. Vanyan L.L., Utada H., Shimizu H., Tanaka Y., Palshin N.A., Stepanov V, Kouznetsov V., Medzhitov R.D., Nozdrina A. Studies on the litosphere and water transport by using The Japan Sea submarine cable (JASC): 1. Teoretical consideration // *Earth Planets and Space.* 1998. V. 50. P. 35-42,
16. Шуп Т.Е. Прикладные численные методы в физике и технике. М.: Высш. шк., 1996. 253 с.
17. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990. 584 с.
18. Fontes S.L., Harinarayana T., Dawes G.J.K., Hutton V.R.S. Processing of noisy magnetotelluric data using digital filters and additional data selection criteria // *Phys. Earth Planet. Int.* 1988. V. 52. P. 30-40.
19. Egbert G.D., Booker J.R., Schultz A. Very Long Period Magnetotellurics at Tucson Observatory: Estimation of Impedances // *J. Geophys. Res.* 1992. V. 97, № B11. P. 15113-15128.
20. Крелевец А.Н., Копылова Г.Н. Приливные составляющие в электротеллурическом поле // *Физика Земли.* 2003. № 5. С. 75-84.
21. Mori T. Variations in the geoelectric Field with Relation to Crustal Conditions of the Earth // *The Geophysical Magazine.* 1987. V. 42, № 2. P. 41-103.
22. Мельхиор П. Земные приливы. М.: Мир, 1986. 482 с.
23. Chave A.D., Luther D.S. Low-Frequency, Motionally Induced Electromagnetic Fields in the ocean // *J. Geophys. Res.* 1990. V. 95, № C5. P. 7185-7200.
24. Chave A.D., Luther D.S., Lanzerotti L.J., and Medford L.V. Geoelectric Field Measurement on a Planetary Scale: Oceanographic and Geophysical Application // *Geophys. Res. Lett.* 1992. V. 19. P. 1411-1414.
25. Samson J.S. and. Olson J.V. Data-adaptive polarization filters for multichannel geophysical data // *Geophysics.* 1981. V. 46, №10, P. 1423-1431.
26. Soloviev A.V., Walker R.J., Weisberg R.H., and Luther M.E. Coastal observatory Energetic Current Oscillations on Southeast Florida Shelf // *EOS.* 2003. V. 84, №4. P. 441.
27. Шнеер В.С., Гайдаш С.П., Трофимов И.Л., Коротаев С.М., Кузнецова Т.В., Цирульник Л.Б., Панфилов А.И., Буднев Н.М., Миргазов Р.Р. Долговременные наблюдения вертикальной компоненты электрического поля в озере Байкал (первые результаты) // *Физика Земли.* 2007. №4. С. 71-75.