



PEARL

Use of the Nakhodka-Naoetsu submarine cable for studying the temporal variability of the integral water transport in the Sea of Japan

Pal'shin, NA; Vanyan, LL; Medzhitov, RD; Shapiro, GI; Evdoshenko, MA; Utada, H; Shimizu, H; Tanaka, Y

Published in:
Oceanology

Publication date:
2001

Link:
[Link to publication in PEARL](#)

Citation for published version (APA):

Pal'shin, NA., Vanyan, LL., Medzhitov, RD., Shapiro, GI., Evdoshenko, MA., Utada, H., Shimizu, H., & Tanaka, Y. (2001). Use of the Nakhodka-Naoetsu submarine cable for studying the temporal variability of the integral water transport in the Sea of Japan. *Oceanology*, 0(0), 447-453.

All content in PEARL is protected by copyright law. Author manuscripts are made available in accordance with publisher policies. Wherever possible please cite the published version using the details provided on the item record or document. In the absence of an open licence (e.g. Creative Commons), permissions for further reuse of content should be sought from the publisher or author.

УДК 551.465

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДВОДНОГО КАБЕЛЯ НАХОДКА–НАОЕТЦУ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПЕРЕНОСА ВОДНЫХ МАСС В ЯПОНСКОМ МОРЕ

© 2001 г. Н. А. Пальшин*, Л. Л. Ваньян*, Р. Д. Меджитов*, Г. И. Шапиро*, М. А. Евдошенко*,
Х. Утада**, Х. Шимицу**, Ю. Танака***

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

**Токийский университет, Токио, Япония

***Университет Киото, Киото, Япония

Поступила в редакцию 09.10.2000 г., после доработки 06.02.2001 г.

С 1996 г. российскими и японскими учеными проводится уникальный эксперимент – мониторинг естественного электрического поля в Японском море с помощью выведенного из коммерческой эксплуатации подводного кабеля Находка (Россия) – Наоетцу (Япония). Измеряемая разность электрических потенциалов между концами кабеля пропорциональна интегральному переносу водных масс поперек кабеля. Характерными особенностями интегрального переноса, вычисленного по кабельным данным за 1997–1999 гг., является наличие изменчивости в синоптическом диапазоне периодов, а также ее годовой и полугодовой ход. Совместный анализ синоптической изменчивости интегрального переноса и ветровых напряжений показал наличие корреляции между исследуемыми величинами. Полученные результаты подтвердили высокую эффективность измерений разности потенциалов между концами кабеля JASC как важного элемента мониторинга синоптической изменчивости переноса водных масс через Японское море.

ВВЕДЕНИЕ

Естественные низкочастотные электромагнитные поля (ЭМ) в морях и океанах индуцируются двумя основными источниками: внешним (ионосферными и магнитосферными токовыми системами), и внутренним – магнитогидродинамическим (МГД) взаимодействием движущейся проводящей морской воды с постоянным геомагнитным полем [9]. Таким образом, электромагнитные поля, измеряемые в морях и океанах, могут быть использованы не только для изучения глубинного геоэлектрического строения, но и для исследования пространственно-временной изменчивости полей течений морей и океанов. В непрерывной части спектра до периодов в несколько суток преобладают поля внешнего происхождения, в то время как на более длинных периодах доминируют поля внутреннего МГД источника. С более подробным обзором по электромагнитным исследованиям в морях и океанах можно ознакомиться в [13, 14].

Наиболее эффективным способом измерения длиннопериодных ЭМ в океанах, безусловно, являются подводные телекоммуникационные кабели [10]. Быстрый рост потребности в высокоэффективных трансокеанских телекоммуникационных системах привел к тому, что, начиная с конца восьмидесятых годов, началась замена аналоговых кабельных систем на оптико-волоконные [8]. Таким образом, многие тысячи километров под-

водных кабелей второго и третьего поколения (типы SD и SF) оказались “ненужными”. В настоящее время учеными различных стран используются более двух десятков выведенных из коммерческой эксплуатации кабелей.

Подводные кабели, используемые в качестве длинных горизонтальных приемных антенн, заземленных на концах, являются дешевыми высокоэффективными системами для наземных измерений электрических полей, индуцируемых в морях и океанах. Преимущества таких систем очевидны: чем длиннее приемная линия, тем выше уровень сигнала, в то время как помехи, вносимые электродами и условиями заземления, при этом не увеличиваются. Более того, многие трансокеанские кабели предоставляют уникальную возможность измерять разности потенциалов на очень больших расстояниях: такие измерения могут быть, в частности, использованы для изучения ЭМ полей в глобальном масштабе [6, 7, 11–13]. Измерения низкочастотного электрического поля представляют собой эффективный инструмент оценки пространственного интеграла баротропной моды течения, или интегрального массопереноса. Особенно эффективными являются долговременные измерения электрического поля с помощью подводных кабелей в проливах, позволяющие осуществлять мониторинг временной изменчивости водообмена.

В настоящее время единственным подводным кабелем, с помощью которого российские ученые совместно с японскими проводят непрерывные измерения разности электрических потенциалов является кабель Находка–Наоетцу, пересекающий Японское море с северо-запада на юго-восток в его центральной части.

ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ С ПОМОЩЬЮ ПОДВОДНОГО КАБЕЛЯ НАХОДКА–НАОЕТЦУ

Коаксиальный телефонный кабель JASC (Japan Sea Cable), пересекающий Японское море, был проложен в 1969 г. Ростелекомом, японской компанией Кокусай Денсин Денва (КДД) и Северной телеграфной компанией (Дания). В 1995 г. в эксплуатацию был введен новый оптико-волоконный кабель с большей пропускной способностью. Идя навстречу просьбам японских и российских геофизиков, владельцы кабеля любезно согласились безвозмездно передать его для мониторинга вариаций электрического поля в Японском море. В российско-японском эксперименте участвуют: Институт океанологии им. П.П. Ширшова, Тихоокеанский океанографический институт и Институт изучения землетрясений Токийского Университета [18].

У российского и японского берегов установлены титановые заземления в точках с координатами $42^{\circ}48'$ с.ш. и $132^{\circ}49'$ в.д. (вблизи г. Находка) и $37^{\circ}40'$ с.ш. и $137^{\circ}59'$ в.д. (в 150 км от г. Ниигата). На кабельной станции Находка (рис. 1) японскими геофизиками установлена цифровая регистрирующая аппаратура. Она состоит из цифрового вольтметра, компьютера с накоплением информации на оптический диск емкостью 128 Мб и часов, управляемых системой GPS (рис. 1). Напряжение между японским и российским заземлениями измеряется раз в секунду. К измерительной установке подключены концы центральных жил двух кабелей: JASC и короткого кабеля до российского заземления, так что расстояние между электродами составляет 710 км.

Измерения были начаты в январе 1996 г. и продолжаются по сей день, благодаря совместным усилиям японских и российских ученых. Результаты спектральной обработки электрического поля, приведенные в [1], свидетельствуют о доминировании полей внутреннего источника, начиная с периодов в 1–2 сут. Важным результатом обработки данных, полученных за первый год наблюдений, явилось обнаружение интенсивных флуктуаций напряжения с периодом около 10 дней, магнитогидродинамического происхождения, доминирующих в длиннопериодном диапазоне периодов [15].

Отличие строения Японского моря от упрощенной модели среды с однородным одномерным

океаном, для которой связь между скоростью течения и электрическим полем можно выразить простым аналитическим соотношением, определяет необходимость проведения дополнительных исследований для оценки связи между измеряемой разностью потенциалов и интегральным переносом водных масс. Одним из способов оценки этой связи является численное моделирование [3, 15]. Результаты такого моделирования для Японского моря показали, что зависимость разности потенциалов на концах кабеля JASC и интегральный расход воды через сечения кабеля близка к линейной. Это значит, что аномалии электрического поля, вызываемые неоднородностями элект-

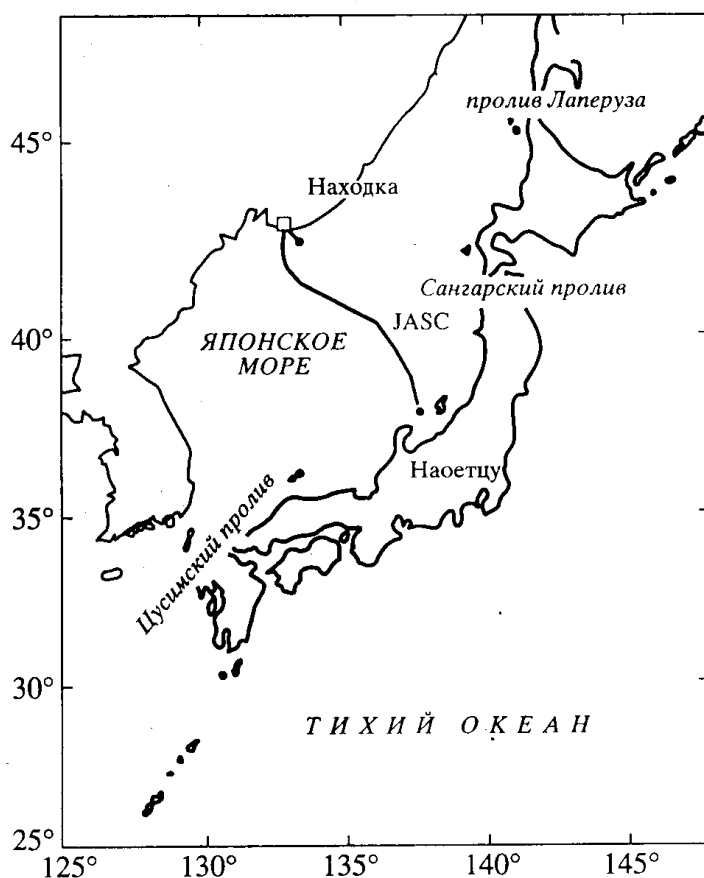


Рис. 1. Схема расположения кабеля JASC, электродов заземления и измерительной установки, расположенной на кабельной станции Находка.

ропроводности водного слоя и поля скоростей течений, не вносят существенных искажений в линейный характер изучаемой связи. Этот факт позволил определить коэффициент между напряжением на концах кабеля и расходом воды, который составил примерно 20 мВ/(км Св) [15, 18].

Таким образом, результаты предыдущих исследований подтвердили возможность использования кабельных измерений для исследования временной изменчивости баротропной моды течений в направлении, перпендикулярном кабелю JASC в длиннопериодном диапазоне. Задачами настоящего исследования является экспериментальное подтверждение эффективности использования разности потенциалов на концах кабеля JASC для исследования интегрального переноса водных масс в центральной части Японского моря.

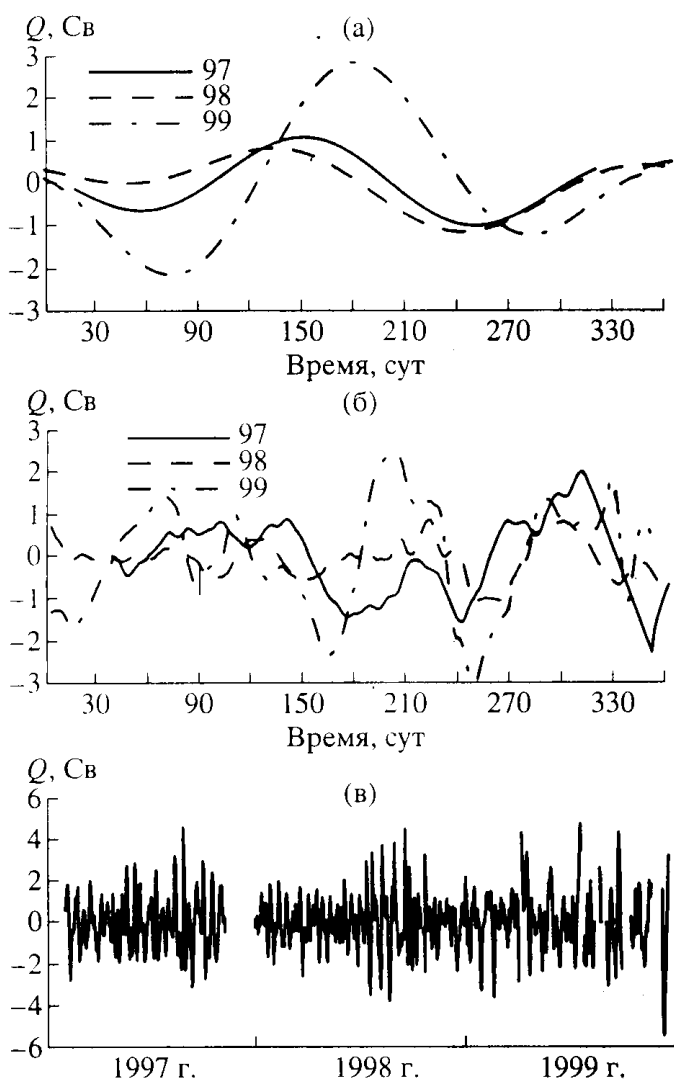


Рис. 2. Результаты выделения сезонной, а также длиннопериодной и короткопериодной нерегулярной внутригодовой изменчивости интегрального переноса Q . (а) – полигармонический сезонный ход, (б) – длиннопериодная составляющая изменчивости, (в) – короткопериодная составляющая изменчивости.

ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ И МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ

К настоящему времени измерения с помощью кабеля JASC ведутся уже почти пять лет с небольшими перерывами, связанными с техническими проблемами. Накоплен большой объем экспериментальных данных, позволяющий решать различные задачи. Для целей настоящего исследования интерес представляют длиннопериодные вариации, вызываемые внутренним МГД источником, поэтому основной задачей обработки первичных измерений с односекундным шагом является выделение длиннопериодной составляющей свободной от вклада вариаций, вызванных геомагнитными возмущениями.

На первом этапе обработки осуществляется предварительная реакция первичных данных, заключающаяся в удалении отдельных выбросов и пересчете значений измеренной разности потенциалов к минутным значениям с использованием медианных оценок. Опыт наших работ показал, что применение робастной методики вычисления медианных оценок является в большинстве случаев весьма эффективным способом подавления высокочастотных помех и получения устойчивых и несмещенных значений среднего. Вычисление среднесуточных и, тем более, среднemesячных значений по этой методике позволяет в значительной степени подавлять короткопериодные вариации геомагнитного происхождения. Следует отметить, что данные, полученные с помощью кабеля JASC, характеризуются высокой интенсивностью вариаций в синоптическом диапазоне периодов (от 3 до 100 сут). Для целей дальнейшего анализа данных JASC среднесуточные и среднemesячные значения разности потенциала были пересчитаны в значения интегрального переноса воды в направлении перпендикулярном кабелю, в соответствии с ранее полученным масштабным множителем.

Обработка данных на втором этапе в основном выполнялась для среднесуточных значений интегрального переноса водных масс. Главной целью второго этапа являлась оценка и выделение межгодовой, сезонной, и нерегулярной внутригодовой изменчивости. Использовалось следующее представление о структуре временного ряда $x(t)$ (см., напр., [2]):

$$x(t) = F(t) + S(t) + \varepsilon(t),$$

где $S(t)$ – полигармонический сезонный ход, $F(t)$ – межгодовая, а $\varepsilon(t)$ – нерегулярная внутригодовая изменчивость, t – время.

При этом внутригодовая изменчивость $\varepsilon(t)$ разделялась на два диапазона – короткопериодный $a_1(t)$ (3–30 сут) и $a_2(t)$ длиннопериодный (30–100 сут).

Определение различных составляющих временного ряда выполнялось следующим образом.

Сначала выполнялось центрирование временных рядов, определение и вычитание тренда (межгодовой составляющей) $F(t)$, затем вычислялась остаточная составляющая, представляющая собой разницу исходных среднечасовых значений и межгодовой составляющей. После ее сглаживания плавающим окном длиной 31 сут выполнялась ее аппроксимация набором синусоид с годовым периодом и его первыми гармониками методом наименьших квадратов с целью выделения полигармонического сезонного хода $S(t)$. Данный метод оценки нашел широкое применение при выделении из сигнала гармоник с заранее известными периодами [5]. Вычитая теперь из сглаженной остаточной составляющей полигармонический сезонный ход, получаем нерегулярную длиннопериодную составляющую $a_2(t)$. Короткопериодная составляющая $a_1(t)$ вычисляется как сглаженная плавающим окном длиной 3 сут разность исходной (не сглаженной) остаточной составляющей и суммы полигармонического сезонного хода $S(t)$ и длиннопериодной составляющей $a_2(t)$.

На рис. 2 приведены полученные полигармонический сезонный ход, а также нерегулярные внутригодовые длиннопериодная и короткопериодная составляющие. Анализ полученных результатов показывает, что короткопериодная изменчивость является наиболее интенсивной за весь рассматриваемый период, следующей по интенсивности является длиннопериодная изменчивость, причем для последней характерно увеличение интенсивности за период с июля по ноябрь, что совпадает с “сезоном тайфунов” на акватории Японского моря. Результаты анализа полигармонического сезонного хода показали, что во все три года статистически значимыми являются две первые гармоники (год и полгода), причем преобладает вторая гармоника. Обращает на себя внимание совпадение сезонного хода в 1997 и 1998 гг., в то время как в 1999 г. его амплитуда существенно увеличилась (примерно вдвое) и произошел сдвиг по фазе примерно на месяц.

ИССЛЕДОВАНИЯ СВЯЗЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПЕРЕНОСА ВОДНЫХ МАСС С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ В СИНОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ ПЕРИОДОВ

Впервые подобные связи были экспериментально выявлены при анализе данных, полученных с помощью подводного кабеля Гавайи – Калифорния [6]. В частности, была обнаружена корреляция ротора ветрового напряжения с разностью потенциалов на подводном кабеле. Известно, что ротор ветрового напряжения в значительной степени определяет синоптическую изменчивость баротропной моды в открытом океане (см., напр., [16]). Прямое

атмосферное воздействие является движущей силой крупномасштабной длиннопериодной изменчивости баротропных потоков в океане вне западных пограничных течений на периодах до 100 дней, что было экспериментально подтверждено результатами долговременного крупномасштабного эксперимента Barotropic ElectroMagnetic and Pressure Experiment (BEMPEX), выполнявшегося в центральной части Тихого океана [7]. Детальный анализ связей синоптической изменчивости интегрального переноса, определенного с помощью измерений на подводном кабеле Гавайи – Калифорния, с метеорологическими параметрами [12] подтвердил полученные ранее закономерности. Так, были выявлены корреляционные связи длиннопериодных флуктуаций разности потенциалов на кабеле с вариациями метеорологических параметров (ротора ветрового напряжения, ветрового напряжения и атмосферного давления). Причем флуктуации разности напряжения коррелируются как с локальной (вблизи кабеля) изменчивостью метеорологических параметров, так с изменчивостью метеорологических параметров в районах, существенно удаленных от северо-восточной части Тихого океана. В целом картина корреляционных связей достаточно сложная, степень корреляционных связей весьма изменчива, как в пространственной и частотной областях, так и во времени.

Таким образом, предыдущие исследования позволяли предположить, что и случае кабеля JASC, несмотря на его принципиальные отличия от кабеля Гавайи – Калифорния, следует ожидать наличия корреляционных связей с изменчивостью метеорологических параметров, в первую очередь со скоростью ветра и ветровым напряжением, а также его ротором. Основным отличием кабеля JASC является его расположение – кабель проходит по центральной части окраинного Японского моря в его центральной части, пересекая основные течения: Цусимское и Восточно-Корейское, а также субполярный фронт, разделяющий Японское море на теплую южную и холодную северную части. Особенностью циркуляции поверхностных вод в Японском море является транзит теплых водных масс поступающих из Восточно-Китайского моря через Корейский пролив и вытекающих в Тихий океан через Сангарский пролив и пролив Лаперуза [3, 4, 17]. В северной холодной части моря поверхностные течения представляют собой циклоническую циркуляцию. Таким образом, интегральный перенос, измеряемый кабелем JASC, определяется главным образом теплыми Цусимским и Восточно-Корейским течениями [3, 4, 16]. Схема поверхностных течений в Японском море приведена на рис. 3.

Для сравнительного анализа использовались следующие метеорологические данные:

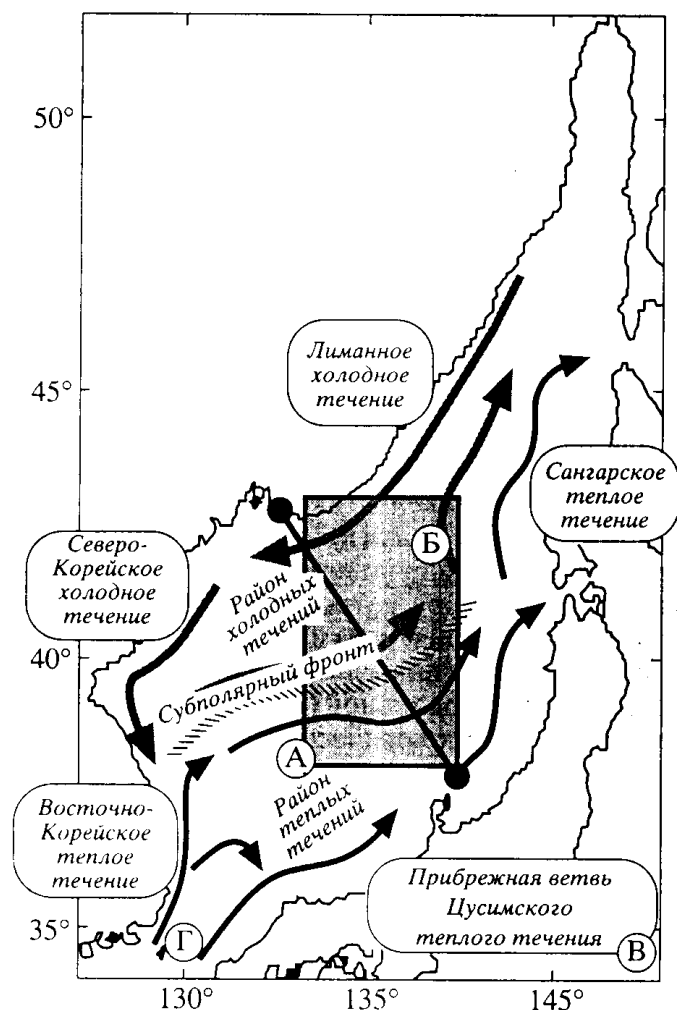


Рис. 3. Схема поверхностных течений в Японском море в соответствии с работой [17]. Заштрихованный прямоугольник – область, в которой вычислялись пространственно-осредненные среднесуточные временные ряды изменчивости метеорологических параметров первого типа (см. текст). Буквами (А–Г) показаны районы, в которых анализировались длиннопериодные метеорологические данные второго типа (см. текст).

1) Метеорологические данные (компоненты скорости ветра, атмосферное давление у поверхности океана, относительная влажность и др.), поступающие в реальном времени из National Center for Environmental Prediction (NCEP, США), по программе SeaWIFS. Исходные метеорологические данные поступали со спутников NOAA. Данные имеют пространственное разрешение в 1° , и поступают 4 раза в сутки (0, 6, 12 и 18 часов). Использование этих данных находится в соответствии с соглашением, подписанным с DAAC (Distributive Active Archive). Использовались данные за 1998 и частично за 1997 гг.

2) Осредненные по одноградусной сетке средненедельные и среднемесячные значения скорости и напряжения ветра, дивергенция ветра и ротор ветрового напряжения MWF (Mean Wind Fields) были получены из архивов CERSAT (Cen-

tre ERS d'Archivage et de Traitement). Использовались данные за 1997–1999 гг.

По данным первого типа были вычислены среднесуточные значения, которые затем были осреднены по прямоугольной области с границами 38° – 43° с.ш. и 134° – 138° в.д. (см. рис. 3). Были также вычислены пространственные (зональный и меридиональный) градиенты атмосферного давления. Полученные среднесуточные временные ряды пространственно-осредненных зональных и меридиональных компонент скорости ветра и градиента давления были обработаны по той же методике, что и среднесуточные ряды интегрального переноса (см. выше). Совместный анализ короткопериодных составляющих интегрального переноса и метеорологических данных за 1998 г. показал наличие корреляции между интегральным переносом и зональным ветром (и меридиональным градиентом давления). Причем выделяются интервалы уверенной прямой корреляции с коэффициентом корреляции 0.7–0.8 (см. рис. 4). Общая длительность этих интервалов составляет более полугода. В то же время существуют интервалы с обратной корреляцией или с отсутствием корреляции. На графике, приведенном на рис. 4в, видна постепенная смена фаз в конце интервала (август–сентябрь) и, следующий за ним временной интервал характеризуется обратной корреляцией.

В то же время существенной взаимосвязи с меридиональной скоростью ветра (и зональным градиентом давления) в короткопериодном диапазоне выявить не удалось. Отсутствует также связь интегрального переноса с исследуемыми пространственно-осредненными метеорологическими параметрами в длиннопериодном диапазоне.

Был также выполнен анализ взаимосвязей интегрального переноса с изменчивостью метеорологических параметров с помощью данных второго типа (средненедельные значения скорости и напряжения ветра, дивергенция ветра и ротор ветрового напряжения). Поскольку корреляции с длиннопериодной составляющей скорости (напряжения ветра) выявлено не было, особое внимание было уделено анализу дивергенции ветра и ротору ветрового напряжения. Было выбрано четыре района: первый (А) – в теплом секторе Японского моря, второй (Б) – в холодном секторе Японского моря, третий (В) – в Тихом океане юго-западнее японских островов, где проходит Куроисио и четвертый (Г) – в Корейском проливе, где теплые течения втекают в Японское море (см. рис. 3).

Сравнение длиннопериодных составляющих интегрального переноса и исследуемых метеорологических параметров выявило наличие обратной корреляции с изменчивостью ротора ветро-

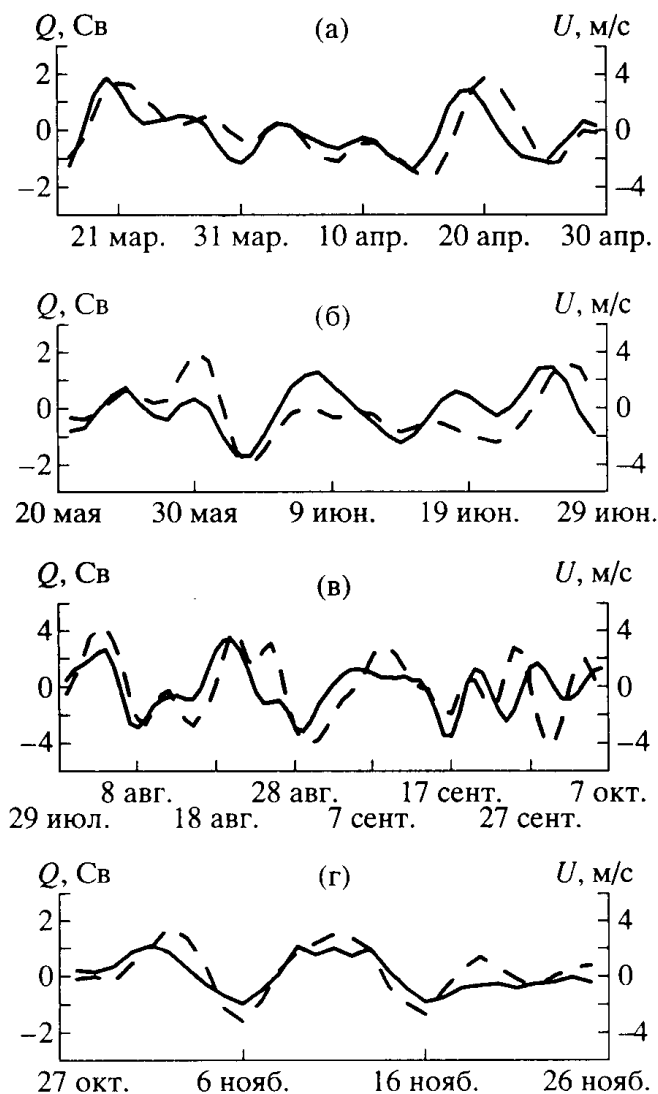


Рис. 4. Сравнение короткопериодных составляющих интегрального переноса Q (сплошная линия) и пространственно-осредненной скорости зонального ветра U (пунктирная линия) за 1998 г. Показаны интервалы (а–г) преимущественно прямой корреляции.

вого напряжения в Корейском проливе (район Г). На рис. 5 приведены длиннопериодные составляющие изменчивости этих параметров за три года. Характер связи изменчивости интегрального переноса и ротора ветрового напряжения различен для различных годов. Так в 1997 и 1998 гг. корреляция существовала лишь во второй половине года, тогда как в 1999 г. взаимосвязь исследуемых параметров наблюдалась в течение всего года. Выявлена также корреляция с зональной компонентой ветрового напряжения в Корейском проливе. Причем так же, как и в случае с ротором ветрового напряжения характер связи различен в разные годы. Если в 1998 и 1999 гг. наблюдается корреляция во второй половине года, то в 1997 г. такой корреляции не наблюдается вовсе.

Важно отметить, что для других районов (см. рис. 3) ни для одного из исследуемых метеорологических параметров уверенной связи между рассматриваемыми процессами выявлено не было.

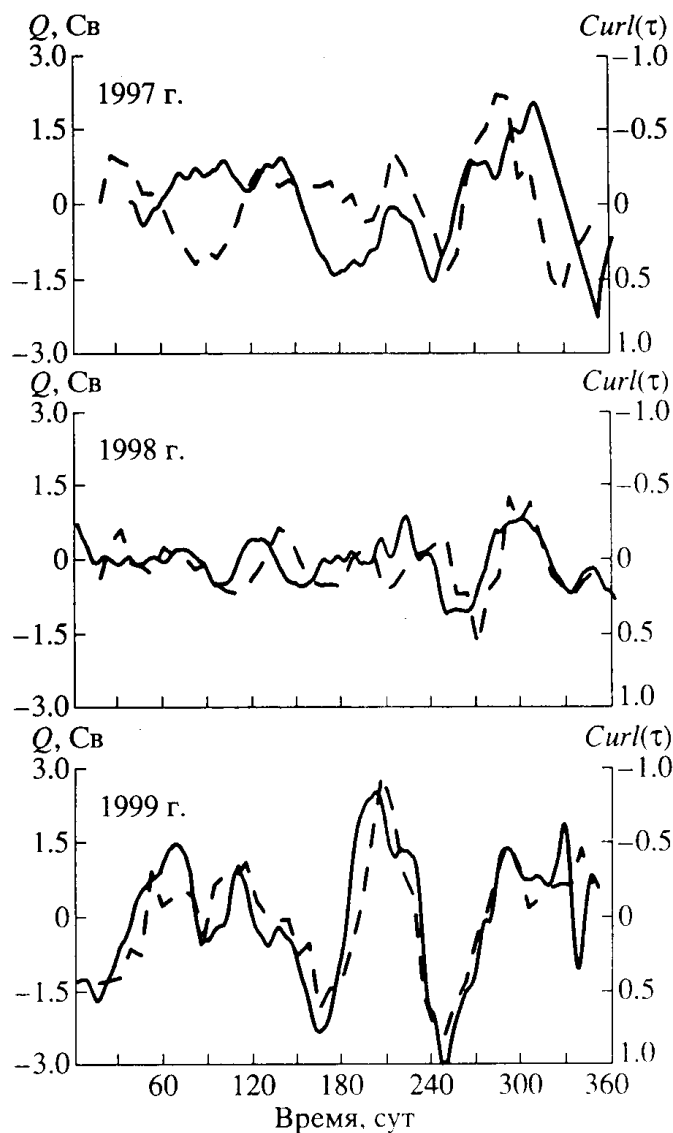


Рис. 5. Сравнение длиннопериодных составляющих интегрального переноса Q (сплошная линия) и ротора ветрового напряжения $\text{curl}(\tau)$ (пунктирная линия) в Корейском проливе (район D)

Сравнение полигармонического сезонного хода интегрального переноса и метеорологических параметров для различных районов также не выявило корреляционных связей. Так, во всех ветровых параметрах доминирует первая годовая гармоника; исключение составляет лишь сезонный ход ротора ветрового напряжения в Корейском проливе (район Г) за 1997 г., когда последний близок к сезонному ходу интегрального переноса.

Зависимость интегрального переноса в центральной части Японского моря от локального воздействия зональной компоненты скорости ветра связана, по всей видимости, с перестройкой поверхностных течений под воздействием интенсивных атмосферных циклонических вихрей, периодически перемещающихся над Японским морем. Так, в середине 1997 г., когда над южной частью Японского моря перемещался тайфун Олива, наблюдалась уверенная прямая корреляция интегрального переноса с зональной компонентой ско-

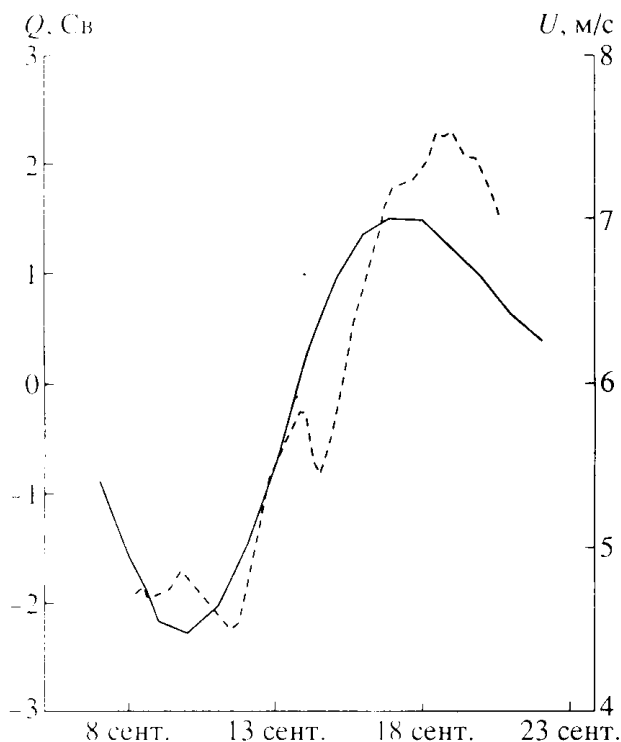
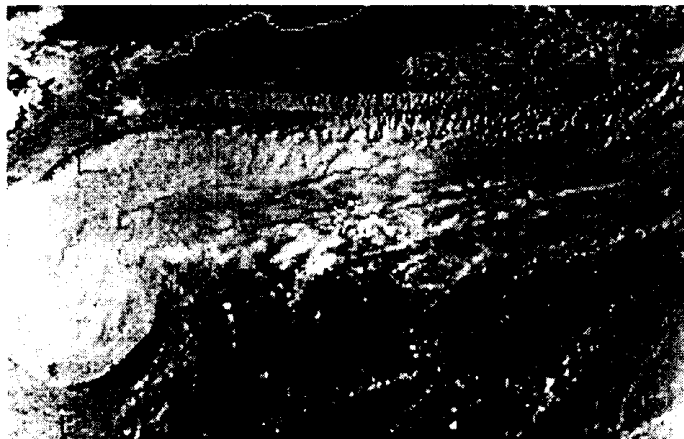


Рис. 6. Сравнение короткопериодной вариации интегрального переноса Q (сплошная линия) и скорости зонального ветра U (пунктирная линия) в центральной части Японского моря во время прохождения над южной частью Японского моря тайфуна "Олива". Вверху показан космический снимок тайфуна "Олива" 15.09.1997 г.

рости ветра в центральной части Японского моря (см. рис. 6).

Как уже отмечалось, особенностью циркуляции в Японском море является транзит водных масс, втекающих в бассейн Японского моря через Корейский пролив. Таким образом, длиннопериодные вариации ротора ветрового напряжения в Корейском проливе играют роль клапана, регулирующего пропускную способность пролива и определяющего таким образом длиннопериодные вариации объема водных масс как втекающих в Японское море, так, по всей видимости, и вытекающих из него через Сангарский пролив и пролив Лаперуза. Именно эти вариации интегрального

переноса и регистрирует пересекающий Японское море в его центральной части кабель JASC.

ВЫВОДЫ

Анализ временной изменчивости разности потенциалов на концах кабеля JASC и вычисленного по ней интегрального переноса показал преобладание короткопериодной составляющей с периодами 3–30 сут и амплитудами 6–8 Sv, существование длиннопериодных вариаций с периодами 30–100 сут и амплитудами 2–5 Sv, а также наличие полигармонического сезонного хода, в котором преобладает вторая (полугодовая) гармоника. Отмечается некоторое усиление длиннопериодной изменчивости в сезон тайфунов (июль–ноябрь), а также существенное отличие как длиннопериодной изменчивости, так и сезонного хода в 1999 г. от предыдущих лет.

Сравнительный анализ изменчивости интегрального переноса, определенного по измерениям разности потенциалов на концах кабеля JASC, показал, что наиболее интенсивная короткопериодная составляющая определяется изменчивостью зональной компоненты скорости (напряжения) ветра в центральной части Японского моря (локальное воздействие), в то время как длиннопериодная изменчивость определяется изменчивостью ротора ветрового напряжения в Корейском проливе. Отмечается также существенное изменение характера корреляционных связей как от сезона к сезону, так и от года к году. Полученные результаты позволили сделать предположения о природе наблюдаемых корреляционных связей изменчивости интегрального переноса и изменчивости метеорологических условий.

Таким образом, полученные результаты подтвердили высокую эффективность измерений разности потенциалов на концах кабеля JASC как важного элемента мониторинга синоптической изменчивости интегрального переноса водных масс через Японское море. К достоинствам подобных измерений следует отнести их непрерывность и интегральный характер, а также невысокую стоимость.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 98-05-64654).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваньян Л.Л., Пальшин Н.А., Утада Х. и др. Изучение теллурического поля с использованием кабеля, пересекающего Японское море // Физика Земли. 2000. № 7. С. 17–26.
2. Гулев С.Л., Колинко А.В., Лаппо С.С. Синоптическое взаимодействие океана и атмосферы в средних широтах. С.-Пб.: Гидрометеониздат, 1994. 320 с.

3. Степанов В.Н. Моделирование течений Японского моря // *Океанология*. 1998. Т. 38. № 2. С. 166–174.
4. Юрасов Г.И., Яричин В.Г. Течения Японского моря. Владивосток: ТОИ, 1991. 173 с.
5. Chave A.D., Filloux J.H., Luther D.S. et al. Observation of the motional electromagnetic fields during EMSLAB // *J. Geophys. Res.* 1989. V. 94. P. 14152–14166.
6. Chave A.D., Luther D.S., Lanzerotti L.J., Medford L.V. Geoelectric field measurements on planetary scale: Oceanographic applications // *Geophys. Res. Lett.* 1992. V. 19. P. 1411–1414.
7. Chave A.D., Luther D.S., Filloux J.H. The barotropic electromagnetic and pressure experiment 1. Barotropic current response to atmosphere forcing // *J. Geophys. Res.* 1992. V. 97. P. 9565–9593.
8. Dodeman A.H., Brewer S.T. Analog telephone cable technology // *Proceedings of International Workshop on Scientific use of submarine cables*. Okinawa, Japan, Feb. 25–28, 1997. P. 85–90.
9. Faraday M. The Bakerian Lecture. Experimental researches in electricity // *Second series. Philos. Trans. R. astr. Soc.* 1832. Part I. P. 163–194.
10. Flossadottir A., Taira K. Observations of ocean currents using submarine cables // *Proceedings of International Workshop on Scientific use of submarine cables*. Okinawa, Japan, Feb. 25–28, 1997. P. 10–15.
11. Fujii I., Nozaki K. Space physics and solid earth geophysics studies using submarine cable // *Proceedings of International Workshop on Scientific use of submarine cables*. Okinawa, Japan, Feb. 25–28, 1997. P. 7–9.
12. Fujii I., Chave A.D. Motional induction effect on the planetary scale: geoelectric potential in the eastern North Pacific // *J. Geophys. Res.* 1999. V. 104. P. 1343–1359.
13. Lanzerotti L.J., Chave A.D., Sayers C.H. et al. Large-scale electric field measurements on the Earth's surface: a review // *J. Geophys. Res.* 1993. V. 98. P. 23525–23534.
14. Palshin N.A. Oceanic electromagnetic studies. A Review // *Surveys in Geophysics*. 1996. Issue 4. V. 17. P. 465–491.
15. Palshin N.A., Vanyan L.L., Kuznetsov V.A. et al. Voltage Measurements with the Cable Crossing the Sea of Japan from Nakhodka to Naoetsu // *Acta Oceanographica Taiwanica*. 1997. V. 36. № 1. P. 11–24.
16. Philander S.G.H. Forced oceanic waves // *Rev. Geophys.* 1978. V. 16. P. 15–46.
17. Uda M. The results of simultaneous oceanographic investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June (in Japanese) // *J. Imp. Fish. Exp. Sta.* 1935. V. 5. P. 57–190.
18. Vanyan L.L., Utada H., Shimizu H. et al. Studies on the lithosphere and the water transport by using the Japan Sea submarine cable (JASC): 1. Theoretical considerations // *Earth Planets Space*. 1998. V. 50. P. 35–42.

Application of Submarine Cable Nakhodka – Naoetsu for the Study of Temporal Variability of Integral Water Transport in the Sea of Japan

N. A. Palshin, L. L. Vanyan, R. D. Medzhitov, G. I. Shapiro, M. A. Evdoshenko,
H. Utada, H. Shimizu, Y. Tanaka

A unique monitoring of the natural electric field in the Sea of Japan have been carried out by the Russian and Japanese scientists using the submarine cable Nakhodka (Russia) – Naoetsu (Japan) taken out of commercial service in 1996. The electric potential difference measured between the ends of the cable is proportional to the integral water transport in the direction perpendicular to the cable. Integral water transport derived from the cable voltage in 1997–1999 is characterized by the variability in the synoptic period range, annual and half-annual periodicities. The cross analysis of the integral water transport and wind stress revealed a correlation between the time series under investigation. The results obtained confirm the efficiency of cable voltage measurements between the cable ends as an important component of monitoring the synoptic variability of integral water transport through the Sea of Japan.