

Российская академия наук  
Дальневосточное отделение  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
ТИХООКЕАНСКИЙ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
им. В.И. Ильичева  
(ТОИ ДВО РАН)

УДК 550.8:622(265)

№ госрегистрации 01.2.013 63044  
Инв. №

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ТОИ ДВО РАН  
академик РАН  
В.И. Ильичев  
« 12 » марта 2015 г.



ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме 3 (пункт №70 Программы ФНИ государственных академий наук  
на 2013-2020 гг.):

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ, ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК,  
ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И СТРУКТУРЫ ГЕОСФЕР  
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ, ИХ СВЯЗИ С СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИМИ  
ПРОЦЕССАМИ И РАЗМЕЩЕНИЕМ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ  
(промежуточный)

Руководители НИР:

д-р геол.-минер. наук

канд. геол.-минер. наук



Р.Г. Кулинич



В.М. Никифоров

Владивосток 2015

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Ответственные исполнители:

Гл. науч. сотр.  
д-р геол.-минер. наук



Р.Г. Кулинич  
(реферат, введение,  
заключение, разд. 1,2, 3, 4, общее  
редактирование)

Зав. лабораторией  
электромагнитных полей  
канд. геол.-минер. наук



В.М. Никифоров  
(разд. 5, 6, 7, 8)

## РЕФЕРАТ

Отчет 40 с., 19 рис., 5 формул, список литературы 6 наименований.

ГРАВИТАЦИОННОЕ, ГЕОМАГНИТНОЕ, ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЯ, МОНИТОРИНГ, ВРЕМЕННЫЕ ЗОНДИРОВАНИЕ, НЕФТЕГАЗОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ФУНДАМЕНТА; ЯПОНСКОЕ, ЮЖНО-КИТАЙСКОЕ МОРЯ, ТОПОГРАФИЯ ДНА И ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ ТИХОГО ОКЕАНА, ПЕТРОФИЗИКА, ГИДРОМАГНИТНАЯ ВАРИАЦИИ, НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ, ЛИТОСФЕРА, ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ СЪЕМКА.

Объектами исследований явились окраинные моря Дальнего Востока России, Южно-Китайское море, их обрамление и Тихий океан. *Цель исследований:* изучение геофизических полей, физических характеристик, геодинамического состояния и структуры геосфер дальневосточных морей, их связи с сеймотектоническими процессами и размещением полезных ископаемых. Выполненные исследования направлены на решение фундаментальных проблем геофизики, геодинамики, а также поисков и использования геофизических критериев для расширения возможностей прогнозирования полезных ископаемых, в частности, углеводородов.

В состав геофизического комплекса вошли: стационарный мониторинг временных вариаций гравитационного, электрического и геомагнитного полей Земли; электромагнитное зондирование литосферы и гидромагнитная съемка; обобщение и интерпретация результатов вышеуказанных работ, включая геофизическое моделирование.

В разделе 1 излагаются результаты мониторинга приливных вариаций силы тяжести, а также регистрации землетрясений с помощью приливного гравиметра. Приведены спектр приливных волн и карта зафиксированных эпицентров землетрясений.

В разделе 2 изложены основные результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния литосферы в районе Центральных Курил, который длительное время был районом сейсмического затишья (сейсмической брешью), завершившегося в 2006-2009 г.г. сильнейшими коровыми землетрясениями.

В разделе 3 излагаются предварительные результаты анализа площадной корреляции высот рельефа и значений гравитационного поля в зоне перехода Тихий океан – азиатский континент с целью выявления аномальных участков для дальнейших более детальных исследований.

В разделе 4 приведены результаты петрофизических исследований, направленных на выявление связей физических параметров горных пород (плотности, магнитной восприимчивости, остаточной намагниченности, электрического сопротивления и скорости распространения упругих волн) с их вещественным составом, условиями происхождения, возрастом, видами

вторичных изменений и т.п. По результатам выполненного анализа построен обобщенный петрофизический разрез.

Раздел 5 посвящен результатам мониторинга временных вариаций геоэлектрического и геомагнитного полей с использованием подводных телекоммуникационных кабелей связи в Японском море и стационарных трехкомпонентных магнитометров, установленных в разных точках северного обрамления этого бассейна.

Раздел 6 посвящен результатам электромагнитного зондирования литосферы в регионах Японского и Южно-Китайского морей. Приводятся геоэлектрические разрезы литосферы.

В разделе 7 изложены основные результаты детальной гидромагнитной съемки в заливе Петра Великого (Японское море).

В разделе 8 описываются предварительные итоги исследований перспективности нефтегазоносных комплексов пород фундамента методами глубинной электроразведки.

Представляемый отчет имеет промежуточный характер, поскольку описываемые работы находятся на начальной стадии выполнения Госзадания. В связи с этим изложенные в отчете результаты имеют предварительный характер. Окончательные выводы по итогам работ будут сделаны в окончательном отчете.

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение.....	6
1 Мониторинг приливных и нерегулярных внутригодовых и межгодовых изменений силы тяжести в пограничной зоне «континент-окраинное море» .....	8.
2 Исследование напряженно-деформированного состояния литосферы в результате воздействия собственной гравитации в зоне перехода «континент-океан».....	9
3. Анализ связи топографии дна и гравитационного поля аномальных участков Тихого океана.....	10
4 Петрофизические исследования геологических комплексов континентального обрамления северной части Японского моря.....	12
5 Мониторинг временных вариаций геоэлектрического и геомагнитного полей.....	12
6 Электромагнитное зондирование литосферы в регионах Японского и Южно-Китайского морей. ....	24
7 Гидромагнитная съемка залива Петра Великого (Японское море).....	29
8 Исследование перспективности нефтегазоносных комплексов пород фундамента методами глубинной электроразведки.....	34
Заключение .....	39
Список литературы .....	40

## ВВЕДЕНИЕ

Целью исследований по теме 3 «Изучение геофизических полей, физических характеристик, геодинамического состояния и структуры геосфер дальневосточных морей, их связи с сеймотектоническими процессами и размещением полезных ископаемых» пункта 70 Программы ФНИ государственных академий наук на 2013-2020 гг. является решение фундаментальных проблем геофизики, геодинамики, а также поисков и использования геофизических критериев для расширения возможностей прогнозирования полезных ископаемых, в частности, углеводородов в регионе дальневосточных морей России.

Объектами исследований явились окраинные моря Дальнего Востока России, Южно-Китайское море, их обрамление и Тихий океан.

В 2014 г. в соответствии с техническим заданием по рассматриваемой теме выполнены следующие виды работ: стационарный мониторинг временных вариаций гравитационного, электрического и геомагнитного полей Земли; электромагнитное зондирование литосферы и гидромагнитная съемка; обобщение и интерпретация результатов вышеуказанных работ, включая геофизическое моделирование.

Отчетная информация изложена в рамках восьми разделов, в каждом из которых помещены основные сведения о выполненных работах.

В разделе 1 излагаются результаты мониторинга приливных вариаций силы тяжести, а также регистрации землетрясений с помощью приливного гравиметра gPhone N 111. Приведены спектр выделенных приливных волн и карта зафиксированных эпицентров землетрясений.

В разделе 2 изложены основные результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния литосферы в районе Центральных Курил, который длительное время был районом сейсмического затишья (сейсмической брешью), завершившегося в 2006-2009 г.г. сильнейшими коровыми землетрясениями.

В разделе 3 излагаются предварительные результаты анализа площадной корреляции высот рельефа и значений гравитационного поля в зоне перехода Тихий океан – азиатский континент с целью выявления аномальных участков для дальнейших более детальных исследований.

В разделе 4 приведены результаты петрофизических исследований, направленных на выявление связей физических параметров горных пород (плотности, магнитной восприимчивости, остаточной намагниченности, электрического сопротивления и скорости распространения упругих волн) с их вещественным составом, условиями происхождения, возрастом, видами вторичных изменений и т.п. По результатам выполненного анализа построен обобщенный петрофизический разрез .....

Раздел 5 посвящен результатам мониторинга временных вариаций геоэлектрического и геомагнитного полей с использованием подводных телекоммуникационных кабелей связи в Японском море и стационарных трехкомпонентных магнитометров, установленных в разных точках северного обрамления этого бассейна.

Раздел 6 посвящен результатам электромагнитного зондирования литосферы в регионах Японского и Южно-Китайского морей. Приводятся геоэлектрические разрезы литосферы.

В разделе 7 изложены основные результаты детальной гидромагнитной съемки в заливе Петра Великого (Японское море).

В разделе 8 описываются предварительные итоги исследований перспективности нефтегазоносных комплексов пород фундамента методами глубинной электроразведки.

Представляемый отчет имеет промежуточный характер, поскольку описываемые работы находятся на начальной стадии выполнения Госзадания. В связи с этим изложенные в отчете результаты имеют предварительный характер. Окончательные выводы по итогам работ будут сделаны в окончательном отчете.

## 1. Мониторинг приливных и нерегулярных внутригодовых и межгодовых изменений силы тяжести в пограничной зоне «континент-окраинное море»

На гравиметрическом пункте ТОИ ДВО РАН «мыс Шульца» (залив Петра Великого, Японское море) выполнен комплекс наблюдений, включающих: мониторинг приливных и нерегулярных вариаций силы тяжести с использованием высокоточного гравиметра g-Phone (Micro-g LaCoste, USA) и определение точного планового и высотного положения гравиметрического пункта и его возможных годовых смещений с помощью высокоточных геодезических GNSS-приемников. Работы выполнены в сотрудничестве с Институтом нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. По результатам наблюдений пополнена база данных, уверенно выделены главные суточные и полусуточные волны (O<sub>1</sub>, P<sub>1</sub>, K<sub>1</sub>, S<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, рисунок 1). Уточнены главные приливные параметры: амплитудный  $\delta$ -фактор и фазовая задержка –  $\alpha$ .

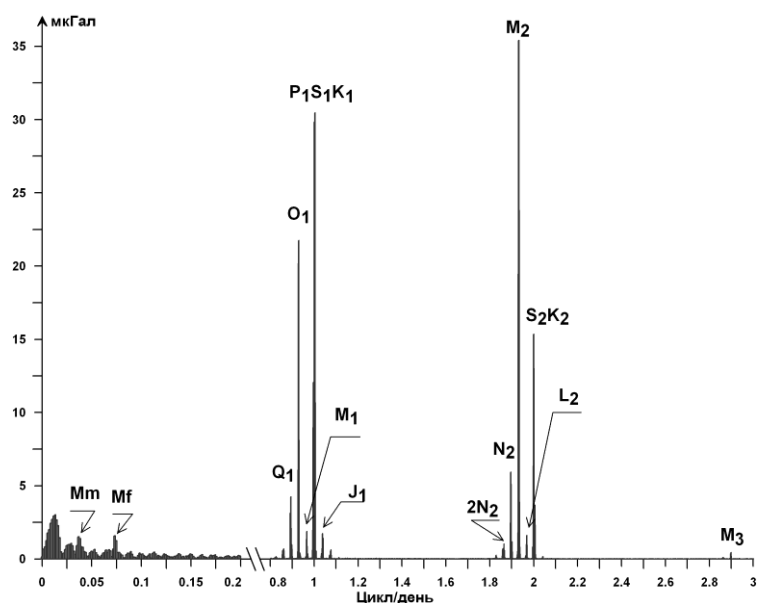


Рисунок 1 – Спектр вариаций силы тяжести за период наблюдений 2012-2014 г.г.

Помимо наблюдения за приливными вариациями силы тяжести указанный гравиметр был использован для регистрации землетрясений. За отчетный период были зафиксированы землетрясения, произошедшие в различных районах земного шара (рисунок 2). Данные мониторинга переданы в ГС РАН.



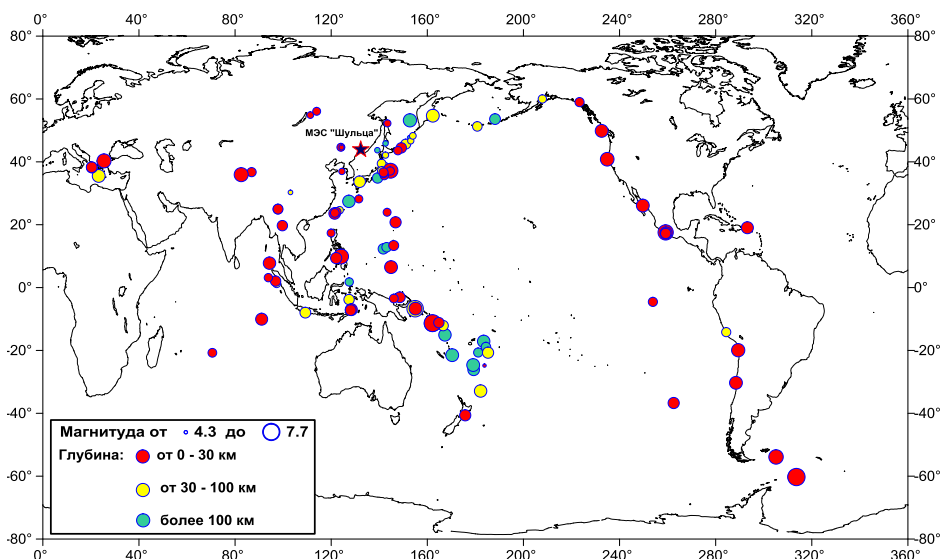


Рисунок 2 – Схема эпицентров землетрясений, зафиксированных гравиметром gPhone N111 на пункте мыс Шульца (Японское море, зал. Петра Великого) в 2014 г.

## 2 Исследование напряженно-деформированного состояния литосферы в результате воздействия собственной гравитации в зоне перехода «континент-океан»

В рамках теории конечных деформаций и линеаризованной теории упругой устойчивости определены особенности распределения полей перемещений, поворотов, удлинений, сдвигов в подастеносферной мантии, астеносфере и литосфере в результате тектонического воздействия собственной гравитации в центральной зоне Курильской островодужной системы. Установлено, что в пределах Центральных Курил, на месте бывшей «сейсмической брешии», геодинамически активные зоны располагаются на глубине 20 км. Это практически совпадает с глубинами гипоцентров Симуширских землетрясений, произошедших здесь в 2006-2007 г.г. На рисунке 3 представлено векторное поле распределения градиентов интенсивности деформаций в слое, моделирующим литосферу на дневной поверхности (стрелки) и на глубине 20 км (треугольники). На дневной поверхности максимальное значение интенсивности деформирования равно 0,3663, минимальное 0,0027; на глубине 20 км максимальное значение интенсивности деформирования равно 0,7086, минимальное 0,0026.

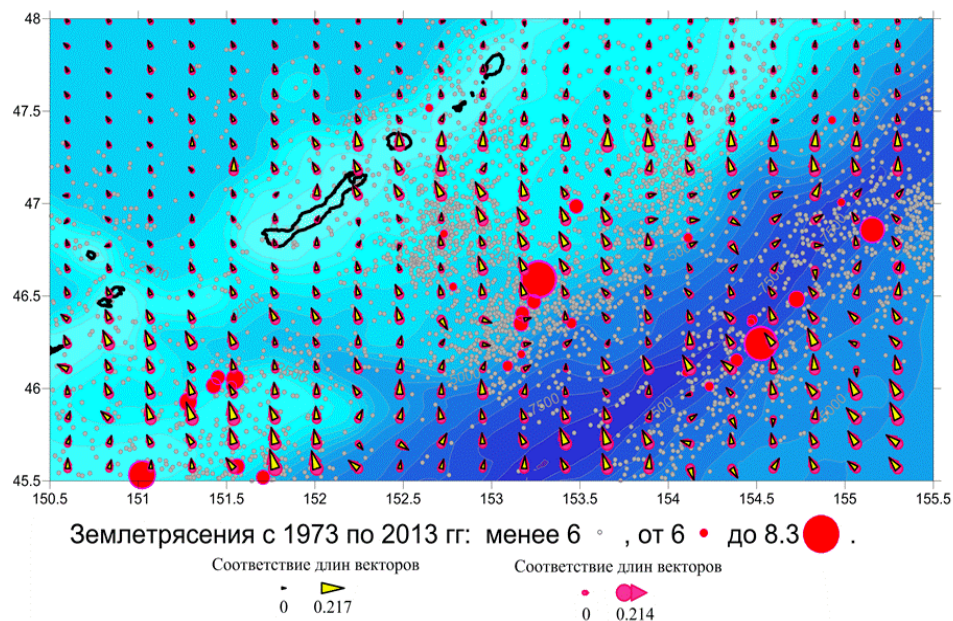
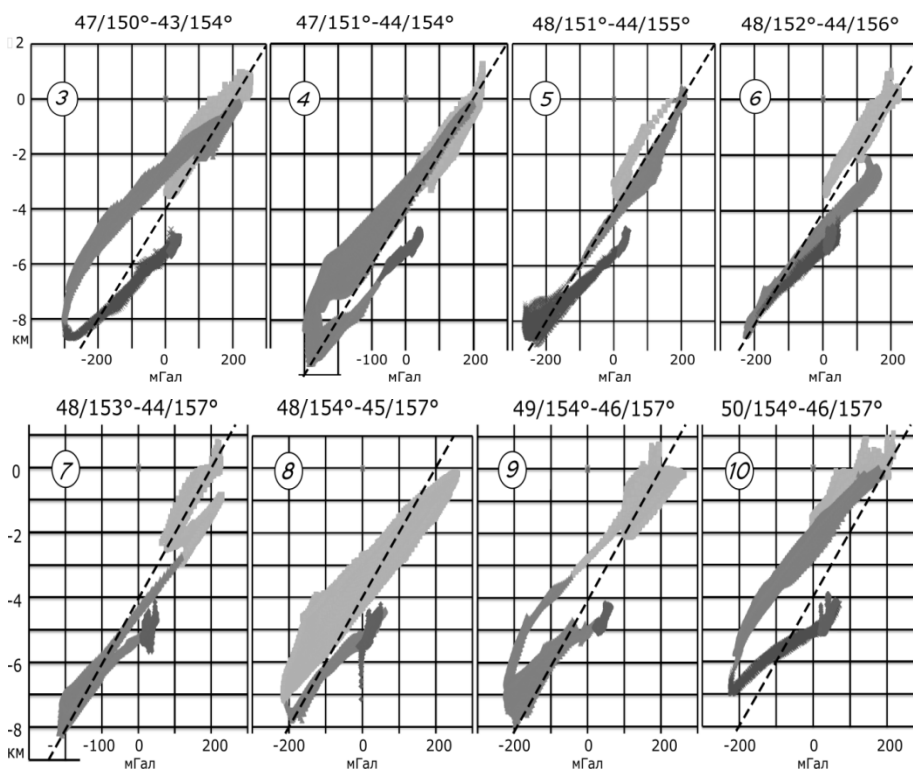


Рисунок 3 - Векторные графики распределения градиентов интенсивности деформаций в области Центральных Курил на дневной поверхности (стрелки) и на глубине 20 км (треугольники) в слое, моделирующем литосферу за 2 млн. лет

### 3 Анализ связи топографии дна и гравитационного поля аномальных участков Тихого океана

Выполнен анализ площадной корреляции высот рельефа и значений гравитационного поля ЗТПЗ по 1-градусным трапециям с целью выявления аномальных участков для дальнейших более детальных исследований. Анализ проводился на основе сформированной ранее базы данных по рельефу и гравитационному полю 1-градусных трапеций в пределах 0-60° с.ш. и 90-180° в.д. с детальностью 1' с помощью программы MS Excel. Результаты для каждой трапеции оформлялись в виде графиков кластеров точек корреляции  $\Delta g$  и  $h$  (от 3600 до 5400 точек в кластере) и уравнений регрессии для них. На отдельных участках 1-градусных трансектов строились графики, объединяющие кластеры 4-5 трапеций.

Наиболее детально (по широтным, долготным и диагональным пересечениям системы островная дуга – желоб) анализировался регион Курило-Камчатского желоба. Ниже приведена одна из иллюстраций полученных данных (рисунок4).



Пунктир - референс-прямая (аттрактор)  $h=20*\Delta g-4000$ . Кластеры отдельных 1-градусных трапеций различаются оттенками серого)

Рисунок 4 - Графики площадной корреляции рельефа и гравитационного поля на 8 ортогональных пересечениях Курило-Камчатского желоба. Над графиками указаны координаты концевых точек профилей (с.ш. и в.д. угловых точек 1-градусных трапеций).

Графики с номерами 3 и 10 (как и не представленные здесь с номерами 1, 2, 11 и 12) являются наиболее типичными для большинства желобов Тихоокеанского кольца, а наиболее аномальными являются графики с номерами 5-7 в районе так называемой «сейсмической брешки». Аналогичная аномалия обнаруживается и на широтных пересечениях Идзу-Бонинского желоба, симметричная Курильской относительно линии, определенной нами ранее как Тектонический экватор.

## **4 Петрофизические исследования геологических комплексов континентального обрамления северной части Японского моря**

Составлены сводные геолого-плотностные и геолого-магнитные колонки для Западно-Приморской структурно-формационной зоны (ЗПСЗ) и объединенная геолого-петрофизическая колонка по структурно-формационным зонам восточного Приморья (Восточная, Прибрежная, Кривинская зона и Восточно-Сихотэ-Алинский вулканический пояс). Каждая геолого-петрофизическая колонка включает: стратиграфическую колонку породных комплексов с указанием их наименования, породного состава и мощности; данные о средней величине (с указанием стандартного отклонения) плотности, магнитной восприимчивости, естественной остаточной намагниченности и её полярности, а также электрического сопротивления комплекса. В качестве фактологической основы для построения колонок использованы материалы ранее созданной автоматизированной информационно-поисковой системы (АИПС) «Петрофизика и палеомагнетизм Япономорского сектора зоны перехода от континента к Тихому океану». По результатам обработки этих данных определены совокупные плотностные, магнитные (магнитная восприимчивость, остаточная намагниченность) и электрические характеристики горных пород каждого развитого в СФЗ комплекса. По результатам этих определений построены колонки для неоген-рифейских отложений.

## **5 Мониторинг временных вариаций геоэлектрического и геомагнитного полей**

### **5.1 Мониторинг временных вариаций геоэлектрического и геомагнитного полей с использованием подводных телекоммуникационных кабелей связи и стационарных трёхкомпонентных магнитометров**

Морской оптоволоконный коммуникационный кабель RJK (рисунок 5) во время его функционирования связывал Россию, Японию и Корею. После выведения из эксплуатации в конце 2009 года он был передан ОАО «РОСТЕЛЕКОМом» ТОИ ДВО РАН для проведения научных экспериментов. Кабель состоит из трех плеч: В1, В2, В3, расходящихся от разветвительной муфты ВU. После отключения электропитания жилы оказались закороченными на разветвительной муфте, представляя один проводник. С корейской стороны плечо В3 было выбрано, и кабель был обрублен приблизительно в 1.5 км от ВU в точке В3cut с координатами 38.4891°N, 132.4997°E при глубине моря 2.735 км и сброшен в море как есть без оформления какого-либо заземления на его конце. Так был получен электрический контакт с морской водой стальных и медных проводников, по которым осуществлялось питание линии связи при ее

функционировании, и которые использовались для регистрации вариаций электрического напряжения между береговым заземлением ( $42.7933^{\circ}\text{N}$ ,  $132.7985^{\circ}\text{E}$ ) в Находке и морским вблизи муфты ВU. Регистрация вариаций осуществлялась на береговой станции в Находке в 5-ти км от береговой черты. Для этого использовался аналого-цифровой преобразователь (АЦП) E-24 (<http://www.lcard.ru>), соединенный с COM-портом ноутбука, на флеш карте которого производилась запись цифровых отсчетов вариаций через 1 с с суточными файлами. Восьмиканальный АЦП E-24 построен на основе двух микросхем: АЦП AD774 (Analog Devices) и микроконтроллера AVD (ATMEL). Уровень собственных шумов 24-х битного АЦП составляет 10 мкВ. Максимальная частота преобразования 1000 Гц, полоса пропускания 0–500 Гц, входное сопротивление 5 МОм, динамический диапазон  $\pm 2.5$  В, LSB = 0.298 мкВ. Провод, идущий от морского заземления, был подключен к положительной клемме преобразователя. Отсчеты синхронизировались по часам ноутбука, программно корректируемым в процессе записи с уходом не более первых секунд за три месяца и корректируемым при снятии данных. Для идентификации электромагнитных сигналов использовались цифровые записи с широкополосного сейсмометра STS-2, установленного Сахалинским филиалом Геофизической службы РАН на обсерватории “Владивосток” (VLA,  $43.6992^{\circ}\text{N}$ ,  $132.1658^{\circ}\text{E}$ ).

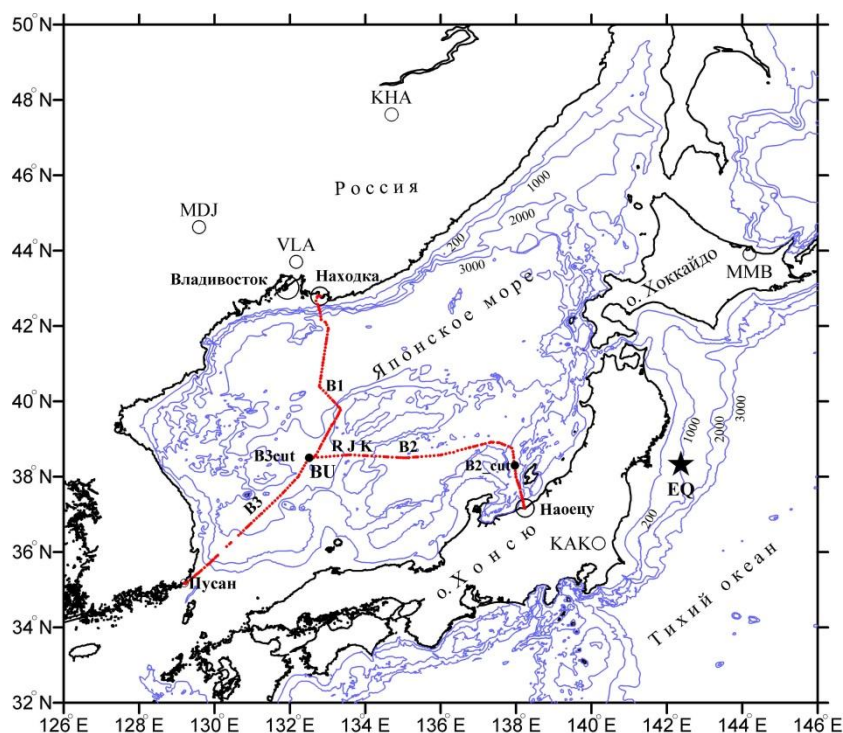


Рисунок 5 - Расположение подводного кабеля RJK, эпицентра землетрясения (звездочка) и пунктов регистрации вариаций геомагнитного поля. V1, V2, V3 – плечи подводного кабеля, ВU – его разветвительная муфта. Глубины моря в м.

При анализе геомагнитных вариаций использовались данные с феррозондовых магнитометров за исключением обсерватории “Хабаровск” (КНА,  $47.6105^{\circ}\text{N}$ ,  $134.6967^{\circ}\text{E}$ ), где

установлен кварцевый торсионный магнитометр. Магнитометры установлены в геомагнитной системе координат с осями  $x$ ,  $y$ ,  $z$  направленными на север, восток и вертикально вниз, соответственно. К этой же системе координат были преобразованы и данные сейсмометра. После очередного съема данных, записанных с кабеля RJK, и просмотре вариаций в пределах суточного файла, включающего момент начала землетрясения, была обнаружена вариация (рисунок б) по морфологии напоминающая сейсмическую запись этого землетрясения на ближайшей китайской сейсмостанции MDJ (44.62°N, 129.59°E).

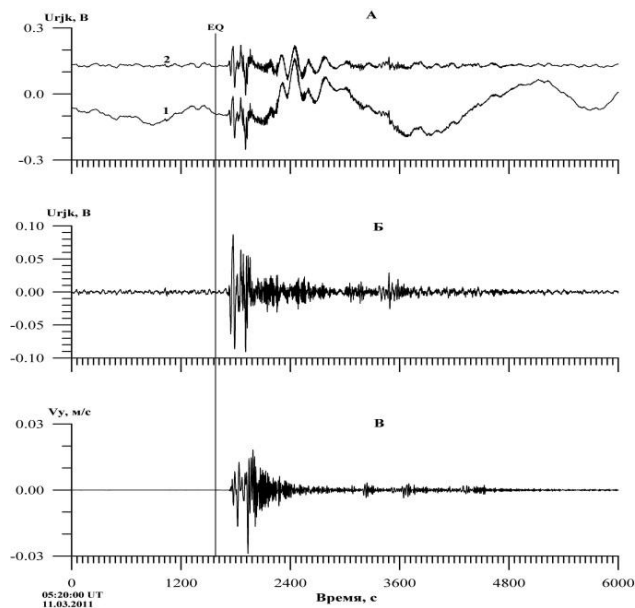
Направление на эпицентр землетрясения из точки расположения морского заземления, как это видно из рисунка 5, практически перпендикулярно направлению измерительной линии и фронт сейсмической волны, в случае его сферичности, раньше будет достигать южного участка плеча В1 кабеля, последовательно возбуждая среду вплоть до берегового заземления. Видимо, вследствие этого и принимая во внимание неоднородность геоэлектрического строения дна, не усматривается полной аналогии между электрическим и сейсмическим сигналами. Так, максимальные коэффициенты корреляции между совмещенными по вступлению электрической вариацией и компонентами скоростей смещений сейсмического возмущения, рассчитанные на временном интервале 600 с, включающем наиболее интенсивные участки возмущений, составили 0.4, 0.5, 0.3, соответственно для  $V_x$ ,  $V_y$  и  $V_z$  скоростей смещений. С другой стороны, измерительная линия длиной 478.6 км, превышающая длины сейсмических волн в среде, представляет собой интегральный датчик сигнала по сравнению с сейсмометром, измеряющим скорости смещения в точке. Как известно, поле сейсмической волны при смещениях морской воды и дна в постоянном магнитном поле Земли в лежащей на дне измерительной линии будет индуцироваться электрическое напряжение  $U$

$$U = -[V_w - V_s \square B] \square L, \quad (1)$$

где  $V_w$  и  $V_s$  – вектора скоростей смещения воды и осадков,  $B$  – вектор индукции постоянного магнитного поля Земли,  $L$  – вектор длины измерительной линии.

Так как поперечные сейсмические волны не распространяются в водной толще, то в случае плавного рельефа дна движения воды будут возбуждаться только продольными сейсмическими  $P$ -волнами. Учитывая меридиональное расположение плеча В1 кабеля и его практически горизонтальное положение, только широтные компоненты  $P$ -волн будут индуцировать электрическое напряжение. Скорости смещения донных осадков в поле поперечных сейсмических  $S$ -волн и поверхностных волн Лява при относительном положении эпицентра землетрясения и измерительной линии будут практически параллельны последней, а, следовательно, будут наводить в среде электрические напряжения в направлении, перпендикулярном линии. В реальности, видимо, можно ожидать их некоторого незначительного вклада. В поверхностной волне Релея, имеющей  $V_y$  и  $V_z$  компоненты скоростей, только  $V_y$  компонента будет возбуждать

электрические напряжения, регистрируемые на кабеле. Такой избирательный характер наводок в В1 плече кабеля может являться причиной не полного подобия сейсмического и электрического сигналов.



1 – участок исходной записи вариации электрического напряжения на кабеле, 2 – этот же участок после полосовой фильтрации с полосой пропускания 0.003–0.3 Гц. Для лучшего разрешения график 2 смещен по оси напряжений. Вариация электрического напряжения в полосе частот 0.01–0.5 Гц (б) и исходная запись широтной составляющей скорости смещения среды на обсерватории VLA (в). EQ – момент начала землетрясения. Начальное время графиков указано ниже начала временной оси.

Рисунок 6 – Электрические (а), (б) и сейсмические (в) возмущения, вызванные землетрясением и записанные на кабеле RJK

Как видно из рисунка 7, через  $\approx 10$  мин после начала землетрясения на кабеле RJK была зарегистрирована серия колебаний электрического напряжения с периодом  $\approx 150$ –180 с. Так как наблюдаемая серия колебаний протекает на фоне развития сейсмического процесса, имеет амплитуду сопоставимую с амплитудой вариации, возбужденной первым толчком, можно ожидать и ее проявление в магнитных вариациях. Для исследования были взяты цифровые записи феррозондового магнитометра UT-8T, функционирующего на МЭС ТОИ ДВО РАН на о. Попова (POI, 42.9768°N, 131.7280°E) в  $\approx 20$  км от г. Владивостока в рамках проекта «210-й магнитный меридиан». На представлены синхронные, отфильтрованные полосовым цифровым фильтром с полосой пропускания 0.004–0.03 Гц записи широтной компоненты скорости смещения с сейсмометра STS\_2, вариации электрического напряжения с кабеля RJK и трех компонент магнитных вариаций в пункте POI. Из рисунка видно, что на временном отрезке прохождения начальной наиболее интенсивной части сейсмического возмущения не наблюдается реакции в магнитном поле на уровне существующего в этом пункте шума. В последующем промежутке

времени синхронно с зарегистрированной вариацией электрического напряжения наблюдаются вариации магнитного поля, наиболее интенсивные в  $H_y$  и  $H_z$  компонентах. Вариация  $H_z$  протекает синфазно с вариацией напряжения, а вариация  $H_y$  смещена по фазе приблизительно на  $90^\circ$  относительно нее. Можно было бы полагать, что источником этой вариации являются глобальные токовые системы в ионосфере Земли, однако большая величина вертикальной компоненты, почти равной горизонтальной, в этом диапазоне периодов не характерна для этого пункта.

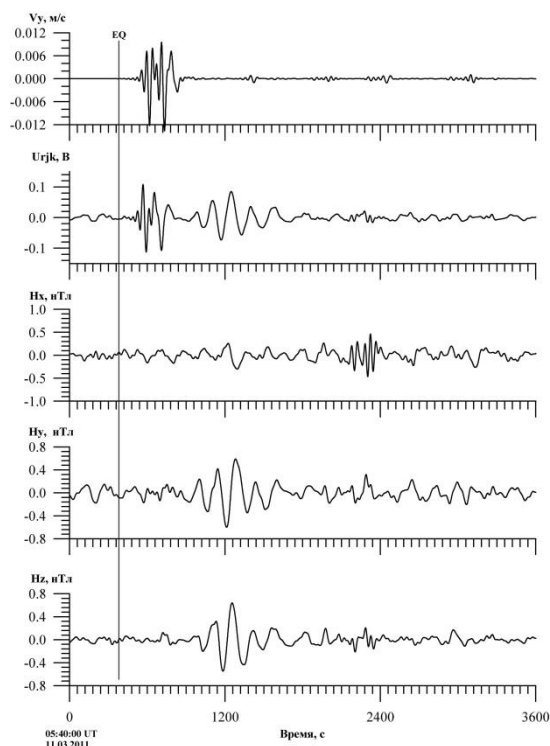


Рисунок 7 – Отфильтрованные с полосой пропускания фильтра 0.004–0.03 Гц (сверху вниз) широтная составляющая скорости сейсмического возмущения, вариация электрического напряжения на кабеле и три компоненты геомагнитной вариации на пункте POI. EQ – момент начала землетрясения.

Проведенный анализ наблюдаемых на кабеле RJК вариаций электрического напряжения во время землетрясения не обнаружил каких-либо сигналов или импульсов на временном интервале от начала землетрясения и до начала реакции на записях напряжений с кабеля, что свидетельствует об отсутствии предшественников в электрическом поле или невозможности их выделения на фоне шумов. С приходом сейсмического возмущения на кабеле наблюдались электрические вариации с амплитудой до 90 мВ, причем, как это видно из рисунка 6-б, максимальные амплитуды наблюдаются в начальной стадии возмущения. Этот временной промежуток на сейсмических записях представлен наиболее длинными периодами колебаний



(20–50 с) и характеризуется максимальными горизонтальными смещениями среды (до 10 см), рассчитанными по скоростям смещений. В то же время на этом участке ускорения среды представлены минимальными значениями по сравнению с последующей более высокочастотной частью возмущения. Чтобы определить, какая из характеристик движения среды (ускорение, скорость, смещение) в сейсмическом импульсе в наибольшей степени коррелирует с наблюдаемой вариацией напряжения, были рассчитаны нормированные корреляционные функции с нулевой задержкой, в скользящем вдоль реализаций временном окне длительностью 600 с. Оказалось, что отфильтрованная в полосе частот 0.01–0.5 Гц вариация напряжения больше коррелирует со скоростями и смещениями среды (коэффициент корреляции 0.7–0.8) и меньше с ускорениями среды (коэффициент корреляции 0.4–0.5) на временном интервале протекания сейсмического возмущения. При этом надо учитывать, что характеристики сейсмических возмущений в районе расположения кабеля могут отличаться от таковых, полученных на обсерватории VLA. Нет сомнения, что наблюдаемая вариация электрического напряжения на кабеле RJК вызвана прохождением сейсмического возмущения столь большой интенсивности. Попытки обнаружить подобную реакцию на кабеле для следующих после основного толчка афтершоков с магнитудой не менее  $M_w \approx 6$  окончились неудачей. Не удалось обнаружить в записях вариаций напряжения при визуальном анализе каких-либо реакций на эти события. Нельзя исключать, что, имея цифровые сейсмические записи этих событий, их удастся выделить, выполняя совместный цифровой анализ.

Рассмотрение электрической и магнитной вариаций, наблюдаемых на кабеле RJК и в пункте POI на фоне развития сейсмического возмущения, показывает, что, вследствие высокой коррелированности, они имеют один и тот же источник. Выполненный анализ значений типперов этой магнитной вариации для пунктов, в которых она представлена, вынуждает предполагать, ее аномальное поведение. Пространственное проявление вариации показывает, что она отсутствует на удаленных обсерваториях и, по-видимому, локализована в Япономорском регионе. На японских островах наблюдается сложный режим ее протекания, на что указывает анализ значений типперов, лежащих на магнитовариационную кривую на обсерватории MMB и отклоняющихся от магнитовариационных кривых на обсерваториях КАК и KNY. Во всяком случае, в наиболее удаленной от эпицентра землетрясения обсерватории KNY она подобна вариации в пункте POI, но характеризуется фазовыми сдвигами между одноименными компонентами на этих обсерваториях. При этом необходимо иметь в виду, что геомагнитные вариации в этом диапазоне периодов в пунктах POI, КАК, MMB, KNY протекают синфазно. Наблюдение этой вариации и в колебаниях электрического напряжения на кабеле RJК, вызванного, вне всякого сомнения, электрическими токами, текущими в слоях горных пород, подразумевает, что и магнитная вариация может вызываться этими токами. А так как распределение токов в разрезе зависит от

величины удельного электрического сопротивления горных пород, то этим вполне можно объяснить локальность проявления этой магнитной вариации и её сложное поведение на японских островах. При этом остается открытым вопрос о механизме генерации электрических токов в земной коре. Нельзя исключить и наложения двух магнитных вариаций, одна из которых имеет источник в ионосфере, а другая определяется электрическими токами в земной коре, но в компонентах эти вариации выражены по-разному. В реальности это может означать, что в некоторых пунктах наблюдений вариация, вызванная внутрикоровыми электрическими токами, в каких-то компонентах, будет увереннее выделяться. Вполне понятно, что для решения этих вопросов необходимы дальнейшие исследования, предполагающие как более подробный анализ уже зарегистрированных данных, так и получение новых с постановкой измерительных аппаратных конфигураций, ориентированных на решение этих проблем. В результате проведенных исследований с использованием подводного кабеля RJK в Японском море удалось впервые зарегистрировать и проанализировать вариацию электрического напряжения, вызванную прохождением сейсмического возмущения от мощного землетрясения у северо-восточного побережья японского острова Хонсю. Изучение этой вариации привело к рассмотрению следующей за ней вариации в электрическом и магнитном полях. Исследована пространственная локализация этой вариации и проанализированы ее возможные источники. По результатам анализа сделан вывод о значительном вкладе в вариацию от источника в земной коре, по крайней мере, на некоторых пунктах ее регистрации.

## **5.2 Выделение длиннопериодной вариации в записях естественного электрического напряжения, наблюденного на подводном кабеле JASC**

Как известно, наиболее интенсивные естественные электрические напряжения в кабеле наводятся вариациями магнитных полей магнитосферных и ионосферных токовых систем, течениями проводящей морской воды в постоянном магнитном поле Земного ядра. Вариации электрического напряжения в кабеле, наведённые этими источниками, будут маскировать значительно меньшие вариации могущие быть вызванными электромагнитными процессами в Земном ядре или эффектами от мощных землетрясений с эпицентрами вблизи места прокладки кабеля. В последнем случае при благоприятной геомагнитной обстановке на кабеле JASC наблюдались вариации, вызванные девятибальным землетрясением Тохоку-Оки 11 марта 2011 г. с эпицентром вблизи восточного побережья японского острова Хонсю. Можно ожидать наличие в наблюденных вариациях и других низко интенсивных компонент, для выделения которых необходимо применять алгоритмы подавления интенсивных помех.

После получения шестилетней реализации вариаций с кабеля JASC было выполнено магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) дна Японского моря по методике стандартно используемой при подобных исследованиях. Эффекты от течений и приливов в японском море изучались и ранее. При этом выделялись некоррелируемые с магнитными вариациями на обсерватории Мемамбецу низко интенсивные вариации электрического напряжения в кабеле, которые было трудно проинтерпретировать. В спектре этих вариаций уверенно выделялась вариация с периодом  $\approx 210$  дней. Интерес к этим вариациям появился после появления работ, в которых вариация с таким же периодом была выделена в вариациях геомагнитного поля, записанных немецким исследовательским спутником CHAMP (Challenging Mini Satellite Payload). В процессе выполнения МТЗ дна японского моря с использованием записанных на кабеле вариаций и расчёта кривой удельного кажущегося сопротивления были проанализированы и корреляционные связи в НЧ области между магнитными и электрическими вариациями. При этом выяснилось, что кривая удельного кажущегося сопротивления при значениях квадрата множественной когерентности равном 0.8 строится только до периодов вариаций  $T \approx 10$  суток. Если уменьшить значения когерентностей, то рассчитываемые удельные кажущиеся сопротивления  $\rho$  резко возрастают при  $T > 10$  дней. С увеличением периода они ложатся примерно вдоль восходящей прямой, наклонённой под углом  $\approx 75^\circ$  к оси  $T$  (в осях  $\lg \rho - \lg T$ ), достигая максимума  $\rho \approx 1000$  Ом·м в области полугодовых периодов. Это указывает на то, что в электрических вариациях в этой области периодов представлены источники электрического поля, не удовлетворяющие модели плоской вертикально падающей электромагнитной волны. Этими источниками могут быть морские течения в постоянном магнитном поле Земли, генерирующие электрические поля в водной толще. Детальное исследование этих полей, выполненное на основе натурального эксперимента в северной части Тихого океана, указывает на возрастание электрического поля гидродинамического источника с увеличением периода за пределами нескольких дней. В этой области периодов наблюдаются низкие когерентности между электрическим полем в водной толще и магнитными компонентами на обсерваториях. Течения не генерируют сколько-нибудь значимых значений магнитных полей в водной толще.

Чтобы исследовать корреляционные связи между магнитными и электрическими вариациями в этой НЧ области и выделить некоррелируемую с магнитным полем электрическую вариацию была применена корреляционная фильтрация. Так если  $U(t)$  есть вариация во времени электрического напряжения с кабеля, а  $H_y(t)$  синхронная с ней компонента магнитной вариации перпендикулярная кабелю JASC, то функция обычной когерентности  $G_{UH_y}(f)$  между ними в зависимости от частоты  $f$  выражается как

$$G_{UH_y}(f) = \frac{|S_{UH_y}(f)|}{\sqrt{S_{UU}(f) \cdot S_{H_y H_y}(f)}}, \quad (2)$$

где  $S_{UU}$ ,  $S_{H_y H_y}$  - авто спектры, а  $S_{UH_y}$  - взаимный спектр соответствующих каналов. Спектры рассчитываются путём усреднения произведения преобразований Фурье на временном интервале  $\tau$

$$S_U(f) = \int_{-\tau/2}^{\tau/2} U(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt \quad (3)$$

от соответствующих каналов в узкой частотной полосе [Бендат, 1974]

$$S_{UH_y}(f) = \overline{S_U(f) \cdot S_{H_y}^*(f)}, \quad (4)$$

где черта сверху означает усреднение, а звёздочка – комплексное сопряжение. При расчёте авто спектров нижние индексы в должны быть одинаковы. Область значений обычной когерентности  $0 \leq G_{UH_y} \leq 1$ . При  $G_{UH_y} = 1$  процессы  $U$  и  $H_y$  полностью коррелированы и линейно связаны, а при  $G_{UH_y} = 0$  они независимы. Тогда произведение

$$G_{UH_y}(f) \cdot S_U(f)$$

будет выделять в спектре  $S_U(f)$  коррелированную с магнитной вариацией часть сигнала, и напротив произведение

$$1 - G_{UH_y}(f) \cdot S_U(f)$$

будет выделять некоррелированную часть. Для выделения некоррелированной  $U_n$  с магнитными вариациями части в вариациях электрического напряжения  $U$  на кабеле JASC выполнялось обратное преобразование Фурье

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

Здесь  $m \geq 1$  небольшое целое положительное число улучшающее селективные свойства фильтрации,  $T$  - длина реализации,  $I$  - мнимая единица,  $\text{Re}$  - реальная часть выражения.

Расчёты выражения выполнялись с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ) для получения спектров вариаций. Так как алгоритм БПФ требует, чтобы количество отсчётов в массиве удовлетворяло требованию  $N = 2^k$ , где  $k$ -целое положительное число, то для реализации 1 принималось  $k=16$  или  $17$  и она дополнялась нулями. В процессе расчётов обнаружилось, что значение  $k=17$  даёт несколько лучший результат, по-видимому, из-за того, что в этом случае спектры рассчитываются с меньшим шагом по частоте, вследствие чего они более детальны. Это значение и использовалось при анализе. Селективные возможности первого подынтегрального множителя повышаются с увеличением значения  $m$ , и для выбора

оптимального значения производился счёт для значений  $m = 1 \dots 8$ . Авто и взаимные спектры определялись при использовании частотного интервала осреднения  $AV$ , содержащего 7 -17 отсчётов спектров каналов. Необходимость выделения сигнала в низкочастотной области спектров ограничивала диапазон значений  $AV$ . После получения некоррелированной временной вариации напряжения на кабеле рассчитывался её спектр по алгоритму БПФ без сглаживания, чтобы не понижать частотное разрешение.

Работоспособность алгоритма проверялась на контрольных примерах, содержащих синусоидальный сигнал в гауссовском шуме или добавленный к реализации 1. Амплитудные спектры (временной вариации электрического напряжения на кабеле JASC (рисунок 8), выделены при значениях  $m = 4$  и  $m = 8$  в с интервалом осреднения спектров  $AV = 7$  отсчётов.

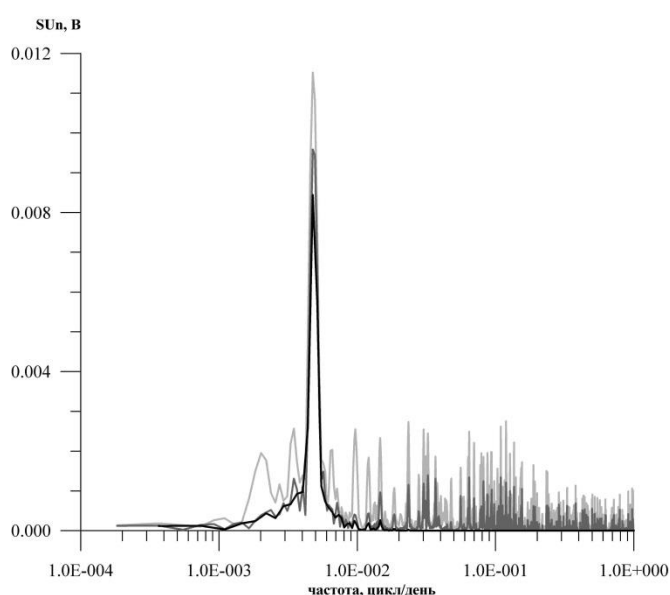


Рисунок.8 - Амплитудные спектры некоррелированной временной вариации электрического напряжения на кабеле JASC

В полученных спектрах отсутствует полугодовая вариация, а ярко выражена вариация с периодом  $\approx 210$  дней, амплитуда которой несущественно меняется при варьировании значением  $m$ . В то же время соседние частоты сильно ослабляются. Аналогичная картина наблюдается в спектрах, полученных при тех же значениях  $m$ , но при  $AV = 17$ . В этом случае при  $m = 4$  правее основного пика на  $T = 210$  дней представлены соизмеримые и несколько меньшие по величине пики на периодах 155, 107, 76 дней, которые сохраняются и при  $m = 8$ , уменьшаясь по амплитуде примерно в два раза. В обоих случаях амплитуда основного пика на периоде 210 дней меняется на  $\pm 15\%$  относительно среднего значения. Основной пик проявлялся и при других значениях параметров, в то время как полугодовой период не обнаруживался. Этого можно было ожидать, полагая, что электрические и магнитные вариации на этом периоде коррелированы.

Чтобы детальней рассмотреть картину на этих частотах и удостовериться, что это не погрешность применяемого алгоритма, мы использовали реализацию 2, полученную в результате НЧ фильтрации и децимации реализации 1 с частотой отсечки фильтра  $f_c = 0.000694$  цикла/час ( $T_c = 60$  дней). Чтобы исследовать спектральный состав электрической и магнитных вариаций этой реализации использовался спектральный анализ по методу максимальной энтропии (ММЭ) в модификации Берга (Burg). Обычный Фурье анализ при относительно короткой используемой реализации не дал бы необходимого частотного разрешения. ММЭ применяется для спектрального анализа коротких реализаций, и требует подбора параметров авторегрессии при его реализации для оптимизации результата. Низкочастотные тренды в данных аппроксимировались полиномами 4-ой степени и вычитались из исходных данных. Надёжность положения спектральных пиков проверялась путём расчёта спектров для различного числа коэффициентов авторегрессии  $mp$ , выбираемого из диапазона  $\frac{1}{2}N_s \leq mp \leq \frac{2}{3}N_s$  где  $N_s$  - число отсчётов в используемой последовательности.

Из рисунка 9 видно, что в области годовых вариаций ( $f_y \approx 0.00274$  цикл/день) спектральные пики электрической и магнитной компонент совпадают. Их некоторое смещение может быть обусловлено шумами и зависимостью ММЭ спектральных оценок от начальных фаз, анализируемых процессов. Вследствие этого совпадения, видимо и не удалось выделить некоррелируемую с магнитным полем электрическую вариацию для этого периода.

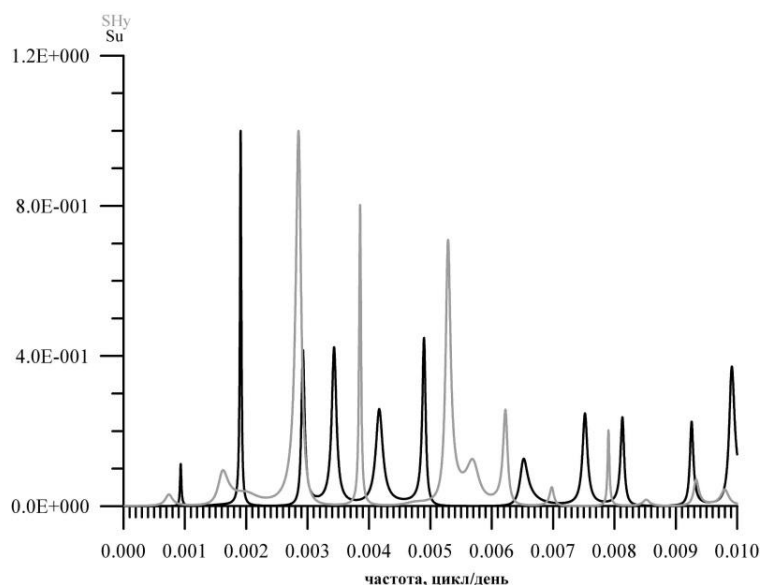


Рисунок 9 - Нормированные на максимальные значения ММЭ спектры длиннопериодных вариаций электрического напряжения на кабеле и перпендикулярной ему компоненты  $H_y$  магнитной вариации на обсерватории ММВ

Напротив, вблизи частоты 0.005 цикл/день ( $T = 200$  дней) электрический и магнитный спектральные пики расходятся и отстоят друг от друга по частоте на  $\Delta f \approx 0.000392$  цикл/день. Это расхождение, по всей видимости, и обеспечило выделение в этой области периодов некоррелируемой с магнитными вариациями электрической составляющей. В полученных спектрах, за исключением годовой вариации, спектральные максимумы электрической и магнитной компонент не совпадают. При разных количествах коэффициентов авторегрессии положение спектрального пика электрической компоненты вблизи частоты 0.005 цикл/день менялось в диапазоне периодов 204-208 дней. Таким образом, анализируемая вариация в электрическом поле выделяется и в ММЭ спектрах.

В верхней части рисунка 10 представлена исходная запись естественного электрического напряжения на кабеле JASC после вычитания из неё линейного тренда. В средней части рисунка на графике показаны временные вариации напряжения, полученные при значениях показателя степени  $m = 1, 4, 8$  последовательно по мере смены цвета линий от серого к чёрному.

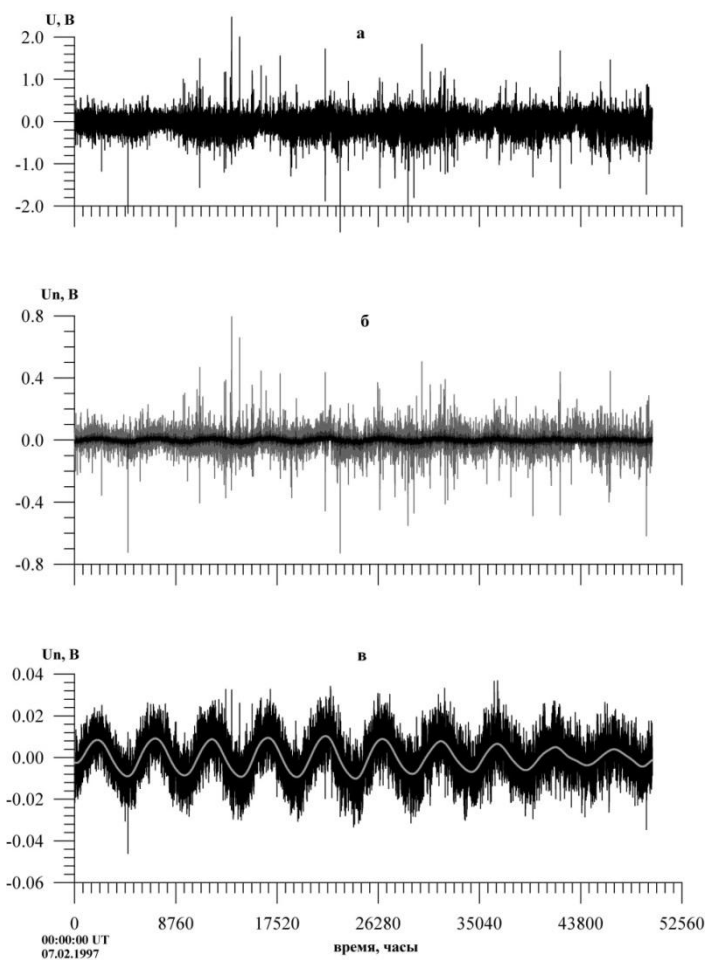


Рисунок 10 - Выделение временной электрической вариации

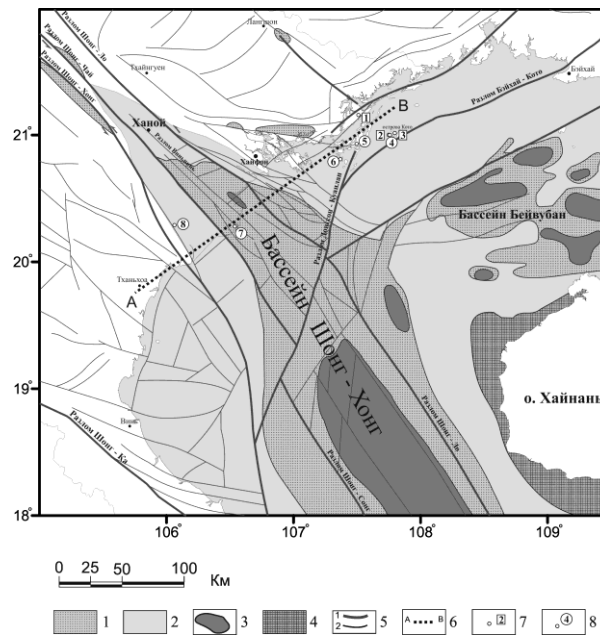
Видно, что при  $m=8$  подавляется значительная часть вариаций исходной реализации и остаётся компонента, содержащая низкочастотную вариацию, осложнённую высокочастотным шумом. Чтобы выделить НЧ вариацию полученная реализация была подвергнута НЧ цифровой фильтрации с частотой среза  $f_c = 0.01$  цикл/день. Результаты фильтрации показаны на графике в нижней части рис. 4 светлой линией. Выделенная вариация представляет собой квазисинусоиду с амплитудой  $\approx 10$  мВ. В её спектре Фурье, показанном на рисунке 8, максимальное значение достигается на периоде 210 дней. Несколько меньшие амплитуды на протяжении двух последних периодов вариации могут быть обусловлены тем, что на этом временном интервале регистрации участились перерывы в записях, для устранения которых использовались интерполяционные процедуры.

Так как используемый метод выделения сигнала, как показали контрольные расчёты, искажает его амплитуду, то для её дополнительной оценки рассчитывался амплитудный спектр исходной реализации 1 с удалённым линейным трендом. При расчётах по алгоритму БПФ показатель двойки был принят равным 17, чтобы уменьшить шаг по частоте и детальнее прорисовать спектральный пик. Оказалось, что выделяемая вариация в электрическом поле проявляется в этом случае широким максимумом с амплитудой примерно равной 20 мВ.

## **6 Электромагнитное зондирование литосферы в регионах Японского и Южно–Китайского морей**

В последние годы происходит активизация нефтегазопоисковых работ в прибрежной части Северного Вьетнама. Однако до сих пор глубинное строение этого региона практически не изучалось. Для построения геоэлектрической модели тектоносферы в 2012–2013 гг. были проведены магнитотеллурические исследования северной части залива Бакбо Южно-Китайского моря. Наблюдения вариаций компонент магнитотеллурического поля проводились на островах Кото, Кайбау, Чабан, Нгоквын, на дне залива Бакбо (с помощью донной станции) и в районе устья реки Красная (рисунок 11).





Условные обозначения: 1 – основной район рифтообразования; 2 – области пострифтовой седиментации; 3 – третичные депоцентры; 4 – Хайнаньское поднятие; 5 – разломы разных порядков; 6 – профиль геоэлектрической модели; 7 – пункты МТЗ, выполненные в 2012 г.; 8 – пункты МТЗ, выполненные в 2013 г.

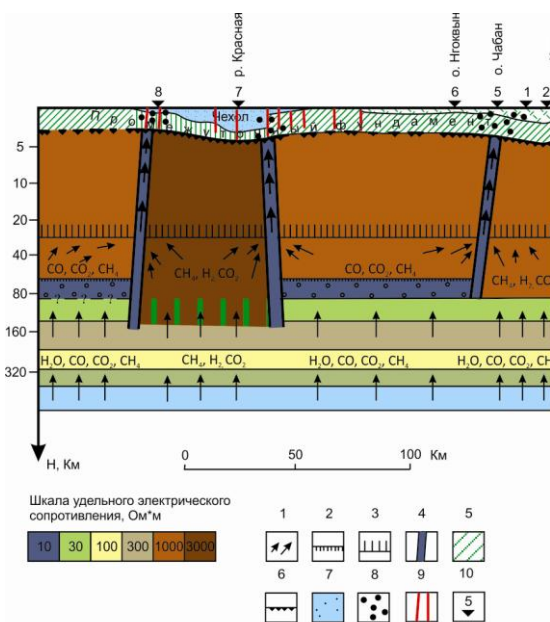
Рисунок 11 – Тектоническая карта залива Бакбо с положением пунктов наблюдения магнитотеллурического зондирования в 2012–2013 гг.

Длительность регистрации составляла от 2 до 10 сут., диапазон полученных периодов  $10 < T < 10000$  с. Магнитотеллурические данные, полученные в условиях суперпозиции региональной и приповерхностной локальной геоэлектрических структур, характеризуются сложной зависимостью между электрическими и магнитными компонентами. Для разделения локальных и региональных эффектов был использован азимутальный анализ кажущегося сопротивления, заключающийся в последовательном пересчете компонент магнитного поля в различные азимуты с шагом  $10^\circ$  и последующим повтором расчетов компонент фиктивного тензора импеданса с фиксированными направлениями электрического поля. В результате такого перебора с применением разработанных критериев определяются направления, в которых глубинный разрез отражается на кривых МТЗ без искажений. Истинное положение уровня кажущегося сопротивления ( $\rho_k$ ) продольных кривых определялось путем сопоставления вьетнамских данных с данными для различных регионов Азиатско-Тихоокеанского побережья.

Полученные семейства кривых отражают весьма сложный геоэлектрический разрез. Так, поперечные кривые в интервале периодов  $T > 200$  с образуют три группы кривых, ветви которых трансформируются от нисходящих (пункты 6, 2) к промежуточным (пункты 1, 5) и до восходящих (пункты 7, 8). Объяснение резкого изменения форм кривых  $\rho_k$  от нисходящих ветвей до восходящих на совсем небольших расстояниях, представляет собой наиболее сложную, в настоящее время малоизученную задачу. Для ее решения было проведено численное

моделирование полученных данных, в результате которого была сформирована модель, содержащая в разрезе сквозь литосферные низкоомные крутопадающие разломные зоны, которые определяют смену формы длиннопериодной ветви кривых МТЗ. При расчетах геометрические параметры модели уточнялись на основании корреляции с результатами плотностного моделирования северной части залива Бакбо.

Полученная геоэлектрическая модель тектоносферы имеет слоисто-блоковое строение (рисунок 12). Выделено четыре блока, разграниченных субвертикальными электропроводящими зонами. Характерной особенностью блоков 1 и 3 являются относительно низкое значение электрического сопротивления астеносферы, варьирующееся на уровне 10 Ом, и подъем ее кровли выше 70 км.



Условные обозначения: 1- Направление потока и состав мантийных газов; 2- Верхняя кромка частично расплавленных верхнемантийных пород в присутствии воды (астеносферы) – региональный экран для воды верхнемантийной породы; 3- Нижняя кромка зоны серпентинизации основных пород земной коры - региональный экран для мантийных газов, образованных за счет связывания воды, образующейся при  $T < 600^\circ \text{C}$  согласно реакции:  $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$ ; 4- Тектонически ослабленные, проницаемые для мантийных газов зоны низкого электрического сопротивления за счет обогащения графитом согласно реакции Будуара:  $\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$ ; 5- Электрически анизотропно-проводящие трещиноватые породы «промежуточного фундамента», обладающие коллекторскими свойствами трещинного типа; 6- Подошва трещиноватых образований «промежуточного фундамента»; 7- Образования осадочного чехла, обладающие коллекторскими свойствами порового типа; 8- Зоны возможного накопления углеводородов; 9- Разрывные нарушения верхней части земной коры; 10- Пункты глубинных электромагнитных зондирований.

Рисунок 12 – Комплексная флюидо-геоэлектрическая глубинная модель нефтегазоносных районов (на примере зал. Бакбо, Южно-Китайское море).

При моделировании предпочтение отдано двухслойной структуре астеносферы с верхним слоем  $\rho_a = 10$  Омм и нижним  $\rho_a = 20\text{--}30$  Омм. Блок 2, расположенный между блоками 1 и 3, отличается повышенным сопротивлением литосферы, которое меняется от 1000 Омм по краям модели до 3000 Омм в центре, и отсутствием поперечной электрической проводимости в астеносферном слое. Блок 4, по-видимому, является фрагментом нормального глубинного геоэлектрического разреза, характерного по своим параметрам для окраинных морей Азиатско-Тихоокеанского побережья. Средняя мощность литосферы составляет 80 км, ее сопротивление колеблется в пределах 500–1000 Омм. Подстилающая астеносфера имеет типичное в регионе сопротивление 20–30 Омм.

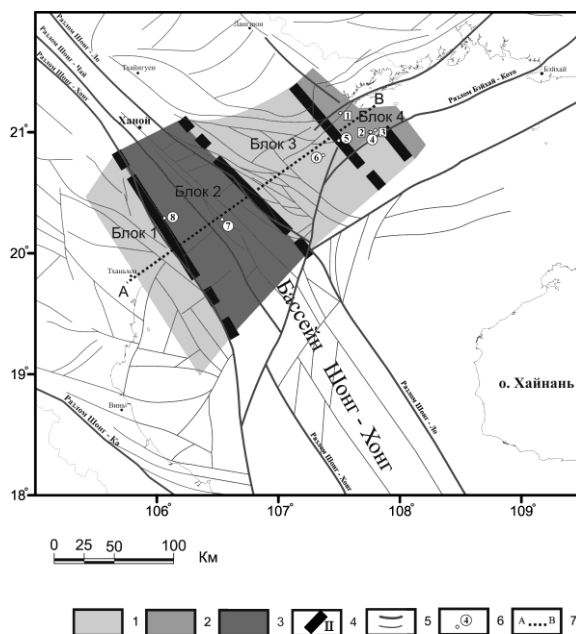
Глубинный разрез перекрывается приповерхностным электропроводящим горизонтом средней мощностью около 4 км. Горизонт представлен двумя слоями. Верхний слой прослеживается по продольным кривым в интервале периодов 10–60 с. С востока на запад его мощность меняется от 1.5 км на пункте 2 до 2.5 км на пункте 1, далее она сокращается до 0.5–0.7 км (пункты 5, 6). В западной части профиля (пункты 7, 8) мощность верхнего слоя возрастает до 4.5–5 км. Геологически рассматриваемый слой представлен разновозрастными породами. На востоке профиля этот слой включает трещинные образования верхнего этажа фундамента (“переходного” комплекса), сложенного гетерогенными породами широкого возрастного диапазона от силурийского возраста до верхнемелового возраста. В западной части профиля рассматриваемый слой отождествляется с рыхлыми осадочными отложениями кайнозойского возраста. Подошва нижнего слоя отражается на поперечных кривых в виде протяженной восходящей ветви. Суммарная проводимость электропроводящих пород в северо-восточном направлении более высокая, чем в северо-западном, что указывает на электрическую анизотропию, т.е. трещиноватость пород. Подошва анизотропно-проводящего слоя по поперечным кривым определяется неуверенно, но не вызывает сомнения региональное развитие этого слоя, отождествляемого с “переходным” фундаментом, на обширной территории при средней мощности 4–5 км. Этот факт подкрепляется данными плотностного моделирования, по результатам которого в северной части залива Бакбо уверенно выделяется разуплотненный слой, отождествляемый с анизотропно-проводящим слоем геоэлектрического разреза.

Таким образом, можно сделать основные выводы о геоэлектрическом строении северной части залива Бакбо.

1. В северной части залива Бакбо регионально развит анизотропно-проводящий разуплотненный слой мощностью до 5 км, сложенный разновозрастными гетерогенными по составу породами “переходного” фундамента.

2. Тектоносфера региона имеет слоисто-блоковое строение. Выделен блок, отличающийся повышенным электрическим сопротивлением литосферы (3000 Омм) и нарушением поперечной

проводимости астеносферы, в плане соответствующим разломной зоне реки Красная (Red River Fault Zone – RRFZ). Это соответствие указывает на глубинное заложение RRFZ, вовлекшее в перестройку литосферу и астеносферу (рисунок. 13). С востока и запада к рассматриваемому блоку прилегают блоки с низкоомной (возбужденной) астеносферой, отличающейся подъемом ее кровли и одновременным уменьшением электрического сопротивления. Это обстоятельство совместно с пониженным уровнем электрического сопротивления литосферы (1000 Ом) указывает на сравнительно высокую флюидопроницаемость блоков, прилегающих с востока и запада к RRFZ.



Условные обозначения: 1 – зоны распространения возбуждённой астеносферы (глубина до кровли 70 км,  $\rho_a \approx 10$  Ом); 2 – зоны развития нормальной астеносферы (глубина до кровли 80 км,  $\rho_a \approx 20-30$  Ом); 3 – зоны развития изменённой астеносферы (поперечная проводимость отсутствует); 4 – крутопадающие электропроводящие (проницаемые) зоны; 5 – разломы по геолого-геофизическим данным; 6 – точки МТЗ; 7 – профиль геоэлектрической модели.

Рисунок 13 - Схема районирования электропроводимости астеносферы.

3. Обосновано существование круто наклоненных электропроводящих разломных зон, в электрическом отношении обеспечивающих контакт пород “переходного” фундамента с породами электропроводящей астеносферы. Эти зоны интерпретируются как проницаемые флюидонасыщенные зоны, по которым мантийный материал может транспортироваться в верхние слои земной коры. Отмечено, что в прибрежной части рудные месторождения и месторождения каменного угля располагаются в непосредственной близости от выходов глубинных проницаемых зон к подошве промежуточного фундамента.

4. Электропроводность пород подкоровой литосферы, средней и нижней части земной коры связывается с накоплением водно-графитовой смеси в трещинах разломных зон, образованной газами мантийного происхождения. В этой связи наличие электропроводящих зон в литосфере отражает факт длительного по времени прохождения потока глубинных газов, среди которых присутствуют  $H_2$  и  $CH_4$ . Данное обстоятельство позволяет районы зафиксированных нами выходов глубинных флюидонасыщенных разломов рассматривать как потенциально нефтегазоносные районы. Наличие регионально развитого комплекса трещиноватых пород промежуточного фундамента является фактором, благоприятствующим накоплению углеводородов, что значительно увеличивает нефтегазовый ресурс региона. Кроме того, пространственная корреляция выделенных региональных анизотропно-проводящих слоев с известными отложениями бассейна Бейбуван подтверждает представление о контроле местоположений углеводородов глубинными структурами.

## 7 Гидромагнитная съемка залива Петра Великого (Японское море)

В отчетном периоде проведена увязка данных гидромагнитных съемок юго-западной части акватории залива Петра Великого 2007-2013 гг. (рисунок 14) и наземной магнитной съемки о. Фуругельма, расположенного в юго-западной части залива Посыета (рисунок 15).

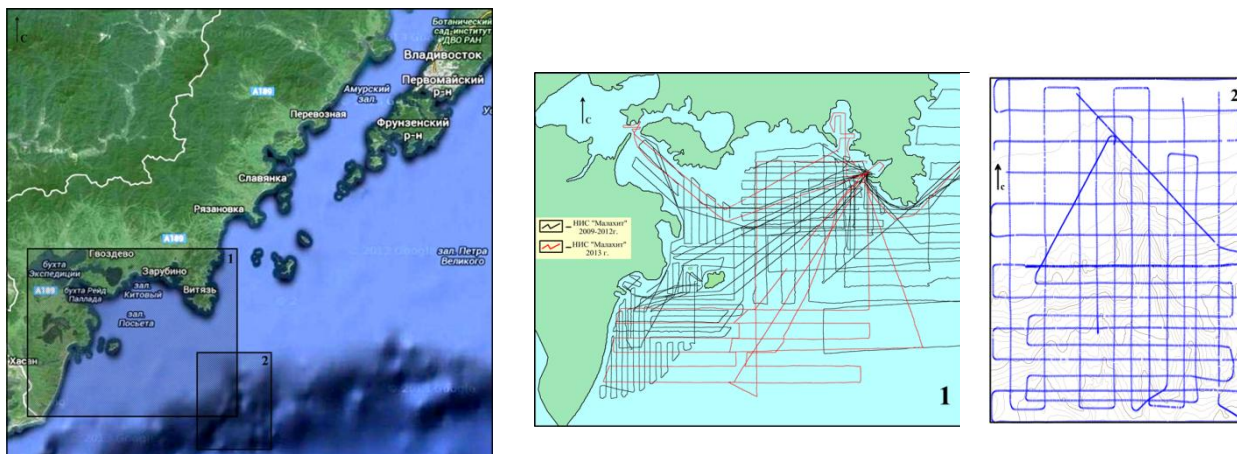


Рисунок 14 - Фактический материал гидромагнитной съемки юго-западной части залива Петра Великого.

Первичная обработка результатов магнитной съемки выполнена на основе представления наблюдаемого геомагнитного поля  $T$  в виде суммы: нормального ( $T_n$ ), аномального ( $T_a$ ) полей и поля вариаций  $\delta T$ . Учет поправок за вариации геомагнитного поля осуществляется на основе синхронных магнитовариационных измерений.

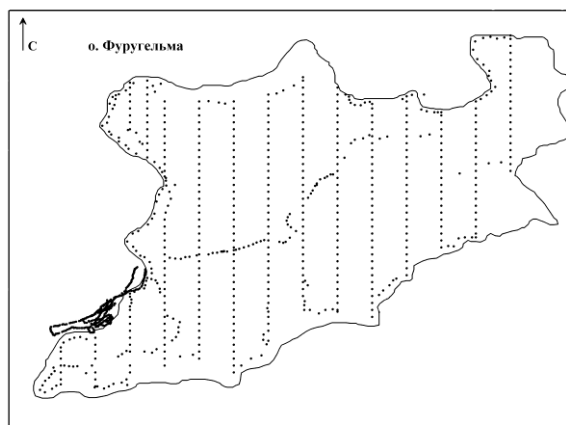


Рисунок 15 - Схема геомагнитных измерений о. Фуругельма

Аномальное магнитное поле (АМП) вычислено по формуле:  $T_a = T - T_n - \delta T_i$ , где  $T_a$  – аномальное магнитное поле,  $T$  – наблюдаемое геомагнитное поле,  $T_n$  – нормальное геомагнитное поле,  $\delta T_i$  - поправка за вариацию геомагнитного поля в каждой точке.

Нормальное геомагнитное поле ( $T_n$ ) рассчитано по сферическим коэффициентам, рекомендованным Международным геодезическим и геофизическим союзом (IUGG) для расчета нормального геомагнитного поля (модель IGRF). АМП, полученное в результате проведенных детальных исследований, определяется разноранговыми аномалиеобразующими источниками. Научный и практический интерес в данном случае представляют аномалии разных уровней: первый уровень - региональный фон  $T_r$ , локальные аномалии отражены в аномальном магнитном поле второго уровня –  $\Delta T_a$ :

$$T_a = T_r + \Delta T_a \quad (6)$$

В основу разделения аномалий положено представление о том, что аномалиеобразующие объекты отличаются по размерам и глубине залегания. Выделение региональной составляющей ( $T_r$ ) выполнено низкочастотным фильтром Гаусса. Такая методика измерений геомагнитного поля и обработки данных позволяет выделять низкоамплитудные локальные магнитные аномалии.

Карта-схема магнитного поля  $\Delta T_a$  акватории построена с сечением изодинам 40 нТл (утроенная среднеквадратическая погрешность съемки) (рисунок 16). Карта-схема о. Фуругельма построена с сечением изодинам 25 нТл (рисунок 17).

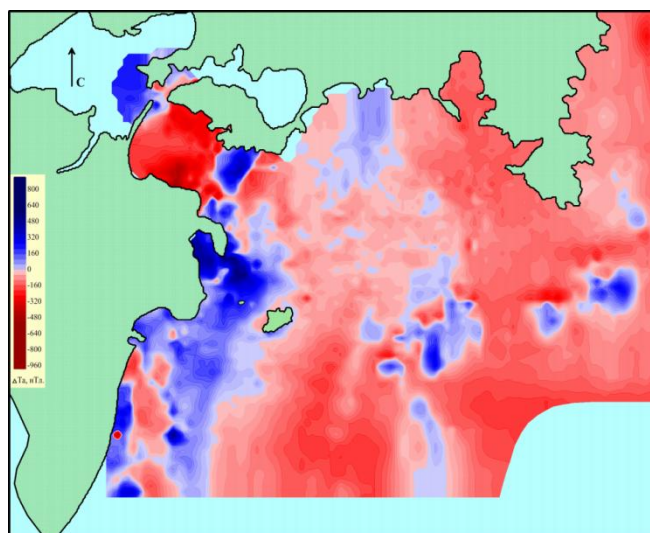


Рисунок 16 - Карта-схема аномального магнитного поля юго-западной части залива Петра Великого М 1: 200 000

Аномальное магнитное поле юго-западной части залива Петра Великого характеризуется в основном отрицательными значениями. Интенсивные положительные аномалии выделены на юго-западе акватории, западнее косы Назимова и на входе в бухту Рейд Паллада. Магнитное поле резко дифференцированное, сложной конфигурации, интенсивностью от -800 до +1000 нТл. Простираение положительных аномалий повторяет генерализованное очертание береговой линии. По результатам наземной магнитной съёмки п-ова Суслова (юго-западное побережье залива Посьета) береговой массив характеризуется положительными аномалиями интенсивностью до 8000 нТл. Локальные положительные магнитные аномалии с амплитудами до 150 нТл выделены в юго-восточной части акватории.

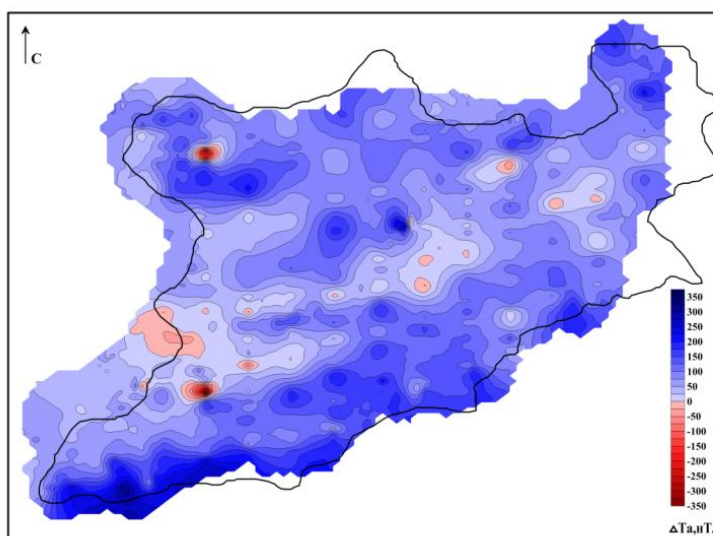


Рисунок 17 - Аномальное магнитное поле о. Фуругельма М 1:5000.

Аномальное магнитное поле о. Фуругельма имеет знакопеременный вид, диапазон изменения поля  $-350 \div 350$  нТл, преобладают в основном невысокие положительные значения (рис. 7.4). Наблюдается обратная корреляция аномального магнитного поля и рельефа острова. В западной и центральной частях острова отмечены высокоградиентные локальные магнитные аномалии. Источниками таких аномалий, по нашему мнению, являются близповерхностные объекты антропогенного происхождения.

Задача выделения и разделения структурно-вещественных комплексов горных пород островов и побережья Приморья реализована в процессе петромагнитного изучения геологической среды о. Фуругельма, п-ова Гамова, юго-западного побережья Приморья южнее бухты Рейд Паллада: от бухты Пемзоя до м. Островок Фальшивый. Для определения статистической меры содержания в породах ферромагнитных минералов титаномагнетитового ряда использованы результаты измерений магнитной восприимчивости горных пород в береговых обнажениях.

В структурном плане о. Фуругельма – фрагмент гранитной интрузии тектонически деформированной и вскрытой эрозией. По ряду геологических и структурных признаков, эта интрузия входит в состав палеозойского интрузивного комплекса, распространённого на материковом побережье западнее и севернее острова. Более 99% объёма – это граниты. Около 1% составляют дайки андезитов, поздних гранитоидов, и жилы кварца. Магнитная восприимчивость ( $\kappa$ ) гранитов острова Фуругельма характеризуется невысокими значениями  $(0.25-2) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ. В скальных обнажениях острова вскрыты эрозией плагиограниты, осложнённые дайками гранит-аплитов, андезитовых порфиров, жилами кварца и зонами дробления. Магнитная восприимчивость андезитовых порфиров на порядок выше чем у гранитов и составляет  $(2.6-17.7) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ. Отложения пляжей представлены магматическими породами от кислого до основного состава. На песчаных пляжах в западной части острова значения магнитной восприимчивости прибрежных отложений достигают  $(80-400) \cdot 10^{-3}$  ед. СИ.

Граниты гамовского комплекса, а также граниты м. Островок Фальшивый, магнитная восприимчивость которых изучена на основе многочисленных измерений в естественном залегании на восточном побережье залива Посьета, характеризуются невысокими значениями исследованного параметра, сопоставимыми с гранитами о. Фуругельма. В приповерхностных условиях в габбро в зонах экзоконтактов гамовского комплекса отмечены узкие (100-200 м) контактовые ореолы, в которых изменение минерального состава выразилось сменой актинолит-хлоритовой ассоциации на амфибол-биотитовую, а непосредственно на контакте (в ксенолитах) – на пироксен-биотитовую и не сопровождается резким изменением магнитной восприимчивости.

Позднерифейский массив полуострова Сулова с запада ограниченный меридиональным разрывом, а с юга прорванный гранодиоритами гамовского комплекса, содержит ксеногенный



блок, в котором метаморфические породы трансформированы в высокотемпературные гиперстен-биотитовые метасланцы. Массив более чем на 90 % сложен габбро с фациальным переходом в кортландит в южной части. Основными типами пород являются перидотиты, кортландиты и габбро, при подавляющем преобладании последнего. В наиболее основных разностях наряду с магнетитом отмечается вкрапленность сульфидов. Магнитная восприимчивость габбро  $(7-26) \cdot 10^{-3}$  ед. Си. Наиболее высокими значениями магнитной восприимчивости  $(40-120) \cdot 10^{-3}$  ед. Си характеризуются гидротермально измененные габбро с жильной магнетитовой минерализацией, приуроченные к многочисленным тектонически ослабленным зонам, которые могут проявляться как участки тектонических дислокаций, прожилковые системы или отдельные прожилки. Гидротермальные изменения пород на рассматриваемой территории развиты повсеместно и характеризуются различной минерализацией. Скорее всего, они произошли одновременно и были связаны с разными источниками.

Дайки базальтов зайсановской свиты мощностью от долей метра до 10-30 м и протяженностью 100-500 м заполняют системы северо-восточных и северо-западных разрывов на полуострове Сулова. Оливиновые базальты содержат во вкрапленниках магнетит и характеризуются высокой намагниченностью с преобладанием индуцированной составляющей. Характерная остаточная намагниченность представлена высокотемпературной компонентой и имеет аномально низкие (по сравнению с аналогичными образованиями прилегающих территорий) наклоны и соответственно низкие палеошироты.

В целом аномальное магнитное поле юго-западной части залива Петра Великого характеризуется неоднородной структурой и интенсивностью знакопеременных магнитных аномалий. Здесь можно выделить три зоны субмеридионального простираения.

Наиболее интенсивные знакопеременные магнитные аномалии выделены в западной части акватории. Магнитные аномалии северо-восточного простираения пространственно связаны с зоной динамического влияния Кубанского разлома, протягивающегося в северо-восточном направлении от устья р. Туманная до долины р. Гладкая и далее на север. Его заложение связано с началом в позднепермских сдвиговых преобразованиях в условиях меридионального сжатия, которое продолжалось до позднего кайнозоя. Сопряженные знакопеременные магнитные аномалии отражают влияние аномально намагниченных гидротермально измененных магматических образований основного состава. Слабомагнитные гранитные массивы, выходы которых отмечены на этом участке побережья и островах, являются буферной зоной, перекрывающей намагниченные геологические тела. Это приводит к снижению интенсивности магнитных аномалий на поверхности гранитных массивов за счет удаления от высокоинтенсивного источника аномального поля.

Восточный участок акватории характеризуется в основном низкоамплитудными отрицательными аномалиями: субмеридионального простираения на севере и субширотного простираения на юге. Морфология и интенсивность аномального магнитного поля на этом участке отражают влияние особенностей формы верхней кромки слабомагнитных интрузивных образований основного состава, развитых в этом районе.

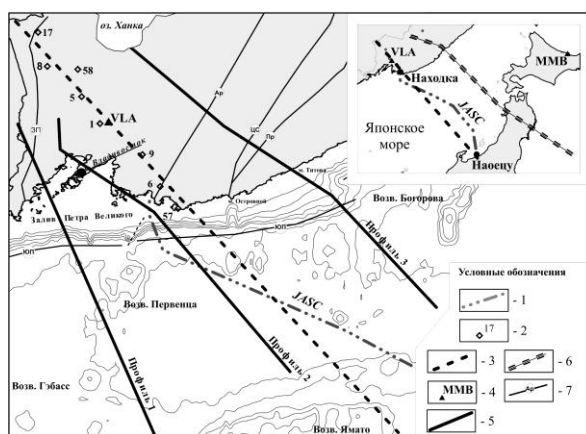
Наиболее интересна структура аномального магнитного поля юго-восточного участка акватории. Простираение отрицательных магнитных аномалий совпадает с простираением резкого понижения рельефа дна в сторону котловины Японского моря (рисунок 16). В северо-западном замыкании линейно вытянутые магнитные аномалии пересекаются под прямым углом. И именно на этом участке выделена низкоамплитудная положительная аномалия в форме кольца. И эта магнитная аномалия и локальные аномалии в форме диполей, расположенные на линейных участках на востоке и на юге могут отражать влияние магнитных масс локальных магматических образований с высокой намагниченностью, формирование которых произошло в зоне высокой проницаемости фундамента на стыке континентальной и морской структур зоны перехода.

## **8 Исследование перспективности нефтегазоносных комплексов пород фундамента методами глубинной электроразведки**

Основной фонд эксплуатируемых в настоящее время месторождений нефти и газа Дальневосточного региона располагаются в осадочных отложениях с коровым типом ёмкостного пространства, занимающих интервал глубин 1–4 км. Ресурсы осадочной толщи с этим типом коллекторов, в основном, хорошо изучены. В этой толще располагаются все месторождения крупнейшего на Дальнем Востоке промышленно нефтегазоносного Сахалинского бассейна, шельф которого включает 9 проектов от «Сахалин-1» до «Сахалин-9». Обнаружение новых скоплений углеводородов в этой толще представляется маловероятным. Прирост нефтегазового потенциала связывается с освоением более глубоко залегающих трещиноватых образований. При этом трещиноватость может быть развита как в уплотненных литифицированных осадочных отложениях, так в метаморфических и массивных образованиях, слагающих фундамент. В последние годы широкое развитие получило изучение трещиноватых образований переходного комплекса между кристаллическим фундаментом и осадочным чехлом. В литературе нередко этот комплекс называется «переходным» фундаментом. Нефтегазоносность таких комплексов установлена в различных регионах мира: Венесуэле, США, Ливии, Египте и т.д. В конце восьмидесятых годов прошлого столетия было открыто уникальное месторождение в гранитах мезозойского фундамента на шельфе Южного Вьетнама. Нашими работами на шельфе Вьетнама

методом магнитотеллурического зондирования выявлена аналогия между геоэлектрическим глубинным разрезом шельфа Вьетнама и шельфа Сахалина. В обоих регионах чётко зафиксировано наличие в разрезе анизотропнопроводящих трещиноватых пород, располагающихся между осадочной толщей и кристаллическим фундаментом. В обоих регионах отмечается наличие крутопадающих электропроводящих зон, отождествляемых с глубинными сквозьлитосферными разломами.

С целью обнаружения сходства или различия геоэлектрического разреза отдельных участков Япономорского региона с отмеченными нефтегазоносными регионами в 2014 г. были проведены дополнительные исследования методом магнитотеллурического зондирования вдоль ранее отработанного профиля точек МТЗ на суше и подводного кабеля JASC. Эти работы сопровождались структурно-плотностным моделированием по линиям профилей, расположенных параллельно прокладки кабеля JASC (рисунок 18). Для уточнения модели были вновь отработаны методом МТЗ в его классическом исполнении в точках 1, 2 и 3. Их положение выбиралось с учётом получения в предстоящем пятилетии кондиционных данных по электромагнитным вариациям вдоль профиля Тихий океан – Японское море – Буреинский массив, и построения фундаментальной геоэлектрической модели тектоносферы в этом регионе. Принципиально важной особенностью выполняемых в отчётном периоде электромагнитных исследований является привлечение записей вариаций электрического поля с применением подводного кабеля RJK, направление прокладки которого составляет угол около  $45^\circ$  по отношению к направлению прокладки кабеля JASC. Различие в направлениях размотки позволило сделать принципиальный вывод о анизотропном характере проводимости электрического слоя, в интервале глубин 3–20 км, ранее выявленного по результатам моделирования данных JASC.

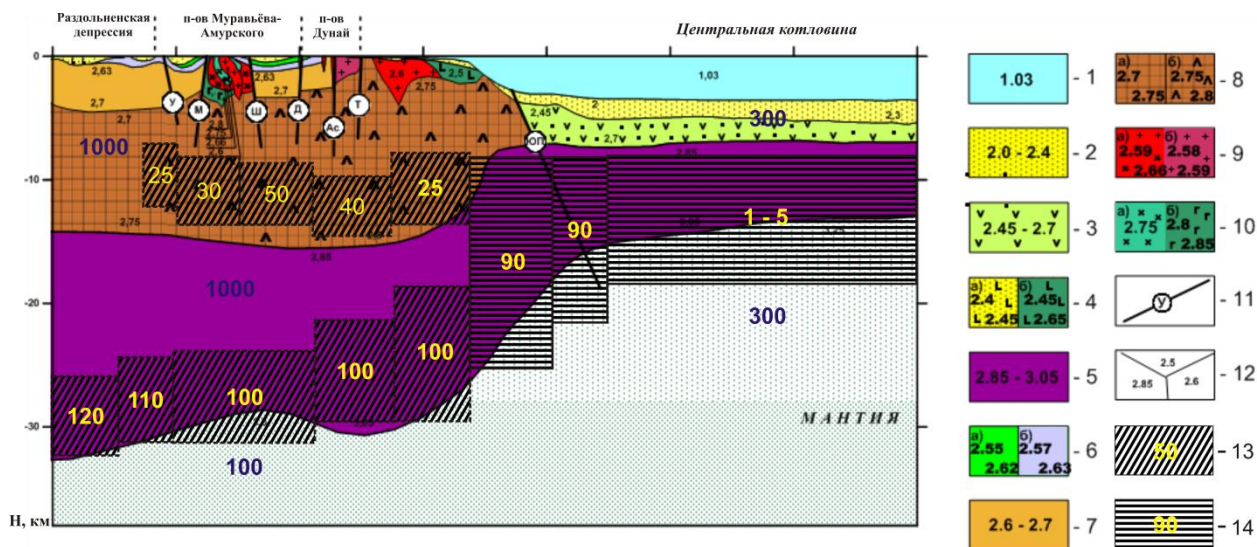


1 - положение подводного телекоммуникационного кабеля JASC; 2 - пункты магнитотеллурических зондирований на суше; 3 - линия профиля геоэлектрического разреза; 4 - местоположение магнитных обсерваторий Владивосток (VLA) и Мемомбецу (MMB); 5 - линии профилей структурно-плотностного моделирования; 6 - профиль глубинного температурного разреза; 7 - основные разломы: Западно-Приморский (З-П), Арсеньевский (Ар), Центрально-Сихотэ-Алинский (ЦС), Прибрежный (Пр), Южно-Приморский (ЮП).

Рисунок 18 - Схема геофизических исследований.

Моделирование ранее имеющихся данных по электромагнитным вариациям совместно с полученными данными в 2014 г. позволило уточнить геоэлектрическую модель земной коры зоны перехода от континентальных структур к структурам Японского моря. Сопоставление геоэлектрического разреза плотностным разрезом и флюидодинамической моделью (рис. 8.2) позволило сделать принципиальные выводы относительно перспективы нефтегазоносности северо-западной части Японского моря.

В континентальной части профиля прослежены два анизотропно-проводящих комплекса. Первый из них расположен в интервале глубин 35–25 км и характеризуется уровнем электрического сопротивления 80–120 Ом в направлении СЗ 330°. Верхний комплекс расположен в интервале глубин 17–8 км. Его сопротивление в направлении СЗ 330° изменяется от 20 Ом до 50 Ом. Относительно низкое сопротивление этого комплекса в свете развиваемых нами идей подъема мантийного флюида связано с накоплением в трещинном пространстве водно-графитовой смеси. Она образуется благодаря реакции  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$ , направлению которой способствуют термобарические условия рассматриваемого интервала глубин. Согласно плотностной модели в этом интервале глубин разрез слагается породами сиалического состава (рисунок 19).



1 - водная толща; 2 - осадочный слой; 3 - вулканогенно-осадочный («переходный») слой; 4 - базальты: а) кайнозойские, б) мезозойские; 5 - «базальтовый» слой; 6 - мезозойские осадочно-вулканогенные образования: а) меловые, б) триасовые; 7 - палеозойские складчатые осадочно-вулканогенные образования; 8 - кристаллический фундамент: а) сиалический, б) метабазитовый); 9 - интрузии гранитного состава: а) мезозойские, б) палеозойские; 10 - интрузии среднего, основного и ультраосновного состава: а) среднего, б) основного-ультраосновного; 11 - разломы: Уссурийский (У), Муравьевский (М), Шкотовский (Ш), Дунайский (Д), Аскольдовский (Ас), Южно-Приморский (ЮП); 12 – границы блоков и плотности в них; 13 - блоки анизотропной электрической проводимости и удельные их сопротивления; 14 - блоки изотропной электрической проводимости и удельные их сопротивления.

Рисунок 19 - Структурно-плотностная и геоэлектрическая модели земной коры по профилю кабеля JASC.

В отличие от нижнего анизотропнопроводящего комплекса, расположенном в базальтовом слое, где вода расходуется на гидратацию основных пород, в верхнем комплексе водно-графитовая смесь, насыщенная метаном и углекислым газом может сохраняться долгое время, не вступая в реакцию с вмещающими породами. Однако, это скопление углеводородов оказывается перекрытым мощной толщей метаморфических и изверженных пород. В этой связи в континентальной зоне, прилегающей к Японскому морю, вероятно, могут существовать значительно локализованные зоны, связанные с глубинными разломами, в которых возможен подток глубинных углеводородов в самую верхнюю часть разреза, где могут располагаться ловушки нетрадиционного типа.

В Япономорской части профиля выделяется единый анизотропно-проводящий комплекс пород в интервале глубин 6–20 км. Его электрическое сопротивление колеблется в пределах 0.5–5 Ом. Максимальная проводимость коровых пород отличается в северо-восточном направлении СВ 30–40°. Анизотропно-проводящий комплекс судя по плотностной модели полностью расположен в базальтовом слое. Можно предположить, что большая часть образованной воды поглощается на гидратацию вмещающих основных пород (Гидратация оливина происходит при температуре  $T < 450^{\circ}\text{C}$ ). Следовательно, электрическая проводимость анизотропнопроводящего комплекса по-видимому связана с накоплением графита в трещинном пространстве. Поскольку гидратация вмещающих пород приводит к увеличению их объёма, то графитизация трещин ещё более способствует уменьшению проницаемости верхней части фундамента. С точки зрения оценки перспективы нефтегазоносности это явление представляется негативным. Вместе с тем существует особенность геоэлектрического разреза, которая позволяет позитивно относиться к проблеме нефтегазоносности дна Японского моря.

Особенность заключается в том, что в отличие от континентальной литосферы, электрическое сопротивление которой колеблется в пределах 80–120 Ом, электрическое сопротивление литосферы Японского моря составляет 400–600 Ом. В первом случае уровень сопротивления 80–120 Ом может быть обусловлен накопления графита в подкоровой литосфере в соответствии с реакцией Будуара  $2\text{CO} \rightarrow 2\text{C} + \text{CO}_2$ . Именно по этой причине практически в пределах всей Сихотэ–Алинской складчатой системы отмечается отмеченный уровень сопротивления. Повышенное сопротивление литосферы Японского моря подразумевает удаление графита из разреза. Это может осуществляться согласно реакции  $\text{C} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4$ , которая возможна при температуре и давлении существующих в литосфере Японского моря и условии того, что мантийный флюид Япономорского региона обогащен водородом. В таком случае восходящий поток глубинных газов, обогащённых водородом, вступая в реакцию с графитом, накопленном в анизотропнопроводящем комплексе может образовать метан. В дальнейшем он

может поступать в осадочную толщу и накапливаться в ловушках. Поскольку область генерации и накопления метана характеризуется высоким электрическим сопротивлением, можно ожидать, что благоприятные в нефтегазоносном отношении территории будут выделяться как относительно высокоомные участки на низкоомном фоне окружения.

Таким образом, проведённые в 2014 году работы по рассматриваемому направлению позволили разработать предварительную основу оценки перспектив нефтегазоносности Японского моря и наметить методические приёмы дальнейших исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В отчетном периоде в соответствии с техническим заданием и календарным планом получены следующие основные результаты:

1. Пополнена база данных по приливным вариациям силы тяжести в условиях пограничной зоны континент-окраинное море. Выделен широкий спектр главных и второстепенных приливных волн. Получены новые, уточненные численные значения амплитудного  $\delta$ -фактора и фазовой задержки- $\alpha$  приливных волн.

2. Выполнено численное моделирование напряженно-деформированного состояние литосферы района Центральных Курил, где ранее существовала зона длительного сейсмического затишья (сейсмическая брешь), завершившая свое существование в результате сильнейших землетрясений 2006-2009 г.г. и где обнаружена поперечная зона тектонической деструкции ранее образованных геологических структур. В результате показано, что на глубине 20 км здесь возможно существование тектонически активной зоны, потенциально ответственной за указанные землетрясения.

3. Выполнен анализ связи рельефа дна и гравитационного поля зоны перехода от Тихого океана к азиатскому континенту. Выявлены различные типы такой взаимосвязи.

4. Выполнены петрофизические исследования в северном континентальном обрамлении Японского моря. В результате разработаны петростратиграфические разрезы (колонки) для основных структурно-формационных зон Восточного Сихотэ-Алиня. Полученные данные используются для геологической интерпретации результатов геофизических работ, производимых в море и на континенте.

5. Выполнен мониторинг временных вариаций геоэлектрического и геомагнитного полей с использованием подводных телекоммуникационных кабелей связи и стационарных трёхкомпонентных магнитометров. В результате указанных исследований с использованием подводного кабеля RJK в Японском море удалось впервые зарегистрировать и проанализировать вариацию электрического напряжения, вызванную прохождением сейсмического возмущения от мощного землетрясения у северо-восточного побережья японского острова Хонсю (11.03.2011г.).

6. В процессе мониторинга вариаций естественного электрического напряжения на подводном кабеле JASC, выделена длиннопериодная вариация, возможно

наведенная вариациями магнитных полей магнитосферных и ионосферных токовых систем, течениями проводящей морской воды в постоянном магнитном поле Земного ядра.

7. Выполнено электромагнитное зондирование литосферы в регионах Японского и Южно – Китайского морей. По результатам этих работ предложена нетрадиционная модель потенциально нефтегазоносных районов, включающая гетерогенный трещиноватый разуплотнённый

анизотропноэлектропроводящий комплекс пород «переходного» фундамента, выполняющего роль резервуара с локальными ловушками и глубинных флюидопроводящих каналов, питающих указанный резервуар углеводородами. Модель подтверждена данными МТЗ, выполненными в заливе Бакбо Южно–Китайского моря и в Сахалинской нефтегазоносной провинции. Выполненные работы позволили разработать предварительную основу оценки перспектив нефтегазоносности изучаемого региона и наметить методические приёмы дальнейших исследований.

8. Выполнена гидромагнитная съемка акватории зал. Петра Великого (Японское море), полученные результаты обобщены с данными предшествующих работ. Построены карты геомагнитных аномалий, дано их описание.

#### **Список литературы, опубликованной в 2014 г. по теме исследований**

1. Кононец С.Н., Съедин В.Т., Харченко Т.А., Валитов М.Г., Изосов Л.А. Типы и физические свойства магматических пород острова Попова (залив Петра Великого, Японское море) // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33, № 2. С. 39-52.

2. Никифоров В.М., Шкабарня Г.Н., Шкабарня Н.Г., Жуковин А.Ю., До Нуу Суонг. Направление поиска новых объектов нефтегазоносности в Азиатско-Тихоокеанском регионе // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск 4. 2014. № S4. С. 35-42.

3. Никифоров В.М., Долгих Г.И., Кулинич Р.Г., Шкабарня Г.Н. Дмитриев И.В., Фунг Ван Фэк, Вуонг Хунг Ван. Новые данные о глубинном строении северной части залива Бакбо Южно-Китайского моря (по результатам магнитотеллурических зондирований) // Доклады Академии наук. Науки о Земле. 2014. Т. 458, № 6. С. 696-700.

4. Осипова Е.Б. Моделирование механизма формирования солянокупольного бассейна // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск 4. 2014. № S4. С. 158-168.

5. Шкабарня Н.Г., Шкабарня Г.Н., Смолин В.А. Метод электрической томографии при изучении угольных месторождений Дальнего Востока // Горный информационно-аналитический бюллетень. Проблемы освоения георесурсов Дальнего Востока. Выпуск. 4. 2014. С. 124-128.

6. Шкабарня Н.Г., Шкабарня Г.Н., Саксин Б.Г., Смолин В.А. Применение метода электрической томографии при изучении угольных месторождений и перспективных участков Приморского края // Горный информационно-аналитический бюллетень. Проблемы освоения георесурсов Дальнего Востока. Выпуск 4. 2014. С. 57-60.