

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

ВАРИАЦИИ ТРАЕКТОРИИ СПУТНИКА МИССИИ ТОПЕКС-ПОСЕЙДОН КАК ИСТОЧНИК ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

© 2011 г. В. В. Иванов

Учреждение Российской академии наук Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Ю. Сахалинск
E-mail: Ivanov.v38@gmail.com

Поступила в редакцию 05.02.2010 г.

Для исследования природы геофизических объектов и событий анализируются вариации траектории спутников миссии Топекс-Посейдон. Предполагаемый источник вариаций — неоднородности плотности земной коры. Предполагаемый механизм действия — гравитационные силы. Предварительно выделены возможные источники возмущения. Полагается, что неоднородности появляются вследствие различия плотности суши и воды. На материалах наблюдения вариаций траектории треков 025, 060, 212, 034 спутников миссии Топекс-Посейдон обнаружены три типа аномалий. К первому типу аномалий отнесены вариации малой амплитуды (100 м) с характерными временами изменения в несколько секунд. Ко второму типу отнесены импульсные аномалии, которые наблюдаются в моменты пересечения траектории и границы суша-вода. Они совпадают с ожидаемыми аномалиями по месту расположения, однако по амплитуде превосходят оценочные значения в десятки раз. К третьему типу аномалий относятся квазипериодические колебания траектории с амплитудой в несколько километров. Эти аномалии квазигармоничны, период колебаний составляет несколько секунд и изменяется в зависимости от расположения точки наблюдения. Возможно, аномалии имеют геофизическое происхождение. Проведена попытка подтверждения естественного происхождения периодической компоненты. Построен спектр поглощения сейсмического излучения сильных землетрясений при регистрации на станциях системы IRIS. Прогнозированы линии полосы поглощения спектра излучения. Прогнозируемые линии поглощения обнаружены.

Ключевые слова: миссия Топекс-Посейдон, вариация траекторий, гравитационная сила, геофизические параметры, землетрясения, о. Сахалин, Охотское море

ВВЕДЕНИЕ

Вариации траектории падающих частиц с начала XX в. стали основным источником информации о природе объектов, используемым при исследовании физических и химических объектов (Борн, 1970; Галицкий и др., 1980; Давыдов, 1963). В настоящей работе анализируются измерения траектории спутников Земли, содержащиеся в файлах MGDR (Benada, 1993). Эти файлы содержат записи параметров траектории спутника за период с 1992–2005 гг. Приведены ежесекундные значения широты и долготы спутника с точностью до 10^{-4} град. Параметры орбиты спутника: высота $H_0 = 1336$ км, период цикла 9.9156 дней, количество оборотов в цикле 127, расстояние между проекциями траектории по экватору 315 км, орбитальная скорость 7.2 км/с, скорость по поверхности Земли $V_0 = 5.8$ км/с. Точность регистрации орбиты по высоте 1 см (Benada 1993).

Цель анализа — обнаружить влияние геофизических объектов и событий на вариации траектории спутника.

При исследовании данных MGDR в процессе обнаружения волны цунами (Иванов, 2003) и при анализе ледовой обстановки в Амурском лимане

(Иванов, 2004) обнаружено, что на траектории наблюдаются существенные отклонения от гладкой кривой, по амплитуде значительно превосходящие погрешность регистрации. В настоящей работе главным предметом является исследование природы наблюдаемых отклонений. Предполагаемый источник вариаций — неоднородности плотности земной коры. Предполагаемый механизм действия — гравитационные силы. Предварительно выделены возможные источники возмущения. К таким источникам можно отнести: границы суша-океан, горные хребты, подводные впадины и отдельные острова.

Возможные эффекты оценены на основе простейшей модели, в которой характеристики неоднородности оцениваются по рельефу местности. Полагается, что неоднородности появляются вследствие различия плотности суши и воды. При оценке плотность грунта суши предполагалась равной 3.5 г/см³, плотность воды 1 г/см³.

Оценивались следующие эффекты. Во-первых, это преломление на угол $\delta\theta$ траектории при пересечении границы шельфа (Прохоров, 1980а). Оценка отклонения траектории при пересечении границы составляет значение

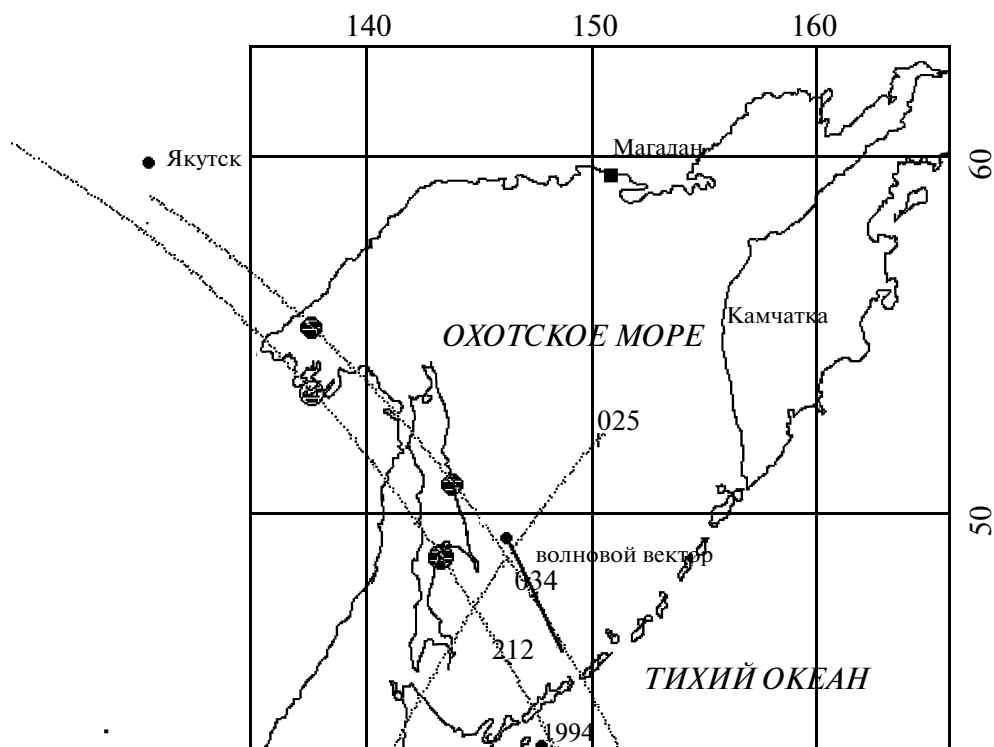


Рис. 1. Траектории треков 025, 212, 034, пересекающих о. Сахалин и Охотское море. Кружки указывают место появления наблюдаемых особенностей. На карте указаны также эпицентр землетрясения 4 октября 1994 г. и положение сейсмических станций Якутск и Магадан.

$$\delta\theta = \text{tg}\theta(\rho - 1)gH_0/v_n^2,$$

где: g – ускорение силы тяжести = $9.8 \text{ см}^2/\text{с}^2$; H_0 – скачок глубины на шельфе $\approx 1000 \text{ м}$; ρ – плотность грунта = $3.5 \text{ г}/\text{см}^3$; v_n – скорость спутника = $5.9 \text{ км}/\text{с}$. Численная оценка ($\delta\theta \sim 10^{-3}$ град) показывает, что такое отклонение может быть зарегистрировано при использовании четырех–пяти точек траектории для оценки направления движения.

Второй источник возмущения – хребты и впадины. Эффект моделируется как два последовательных преломления на угол $\delta\theta$, с расстоянием между преломляющими плоскостями $X_0 \approx 100 \text{ км}$. В результате траектория смещается на расстояние $l = \delta\theta X_0 \approx 100 \text{ м}$, которое вполне отчетливо измеряется при существующей точности регистрации. Третий эффект – это отклонение траектории при пролете мимо острова. Отклонение траектории θ находится из формулы Резерфорда (Прохоров, 1980б)

$$H_0 = f M/v^2 \text{ ctg } \theta/2,$$

где $M = SD_0(\rho - 1)$ – масса острова; S – площадь острова; D_0 – глубина океана = 1000 м ; гравитационная постоянная $f = 7 \times 10^{-8} \text{ см}^3/\text{г}(\text{сек})^2$. Угол отклонения траектории $\theta = f M/H_0 v^2$. При размере острова = 500 км , величина отклонения $\theta \approx 7.5 \times 10^{-6}$ рад. Эта

величина может быть измерена при анализе десяти точек траектории. Таким образом, отклонения траектории, обусловленные неоднородностями земной поверхности, могут наблюдаться при существующей манере формализации спутниковых данных в файлах MGDR.

НАБЛЮДЕНИЕ ВАРИАЦИЙ ТРАЕКТОРИИ СПУТНИКА ПО ДАННЫМ МИССИИ ТОПЕКС-ПОСЕЙДОН

На рис. 1 показана карта Сахалинской обл., на которой приведены треки 212 и 034, пересекающие область в направлении с северо-востока на юго-запад. На своем пути они пересекают: границу суша-море при выходе с материка в окрестности Амурского лимана; две границы суша-море при пересечении о. Сахалин; Охотское море; о. Итуруп и глубоководную впадину Курильского желоба.

Вариации широты и долготы траектории спутника показаны на рис. 2. Это плавные монотонные кривые с небольшими, едва заметными (амплитуда 10^{-2}), вариациями координат. Это участок эллиптической траектории спутника между 139° и 157° в.д. Всего на траектории содержится 500 точек регистрации. Выделяются скачки амплитуды, которые отчетливо видны, если из приведенных в файле ва-

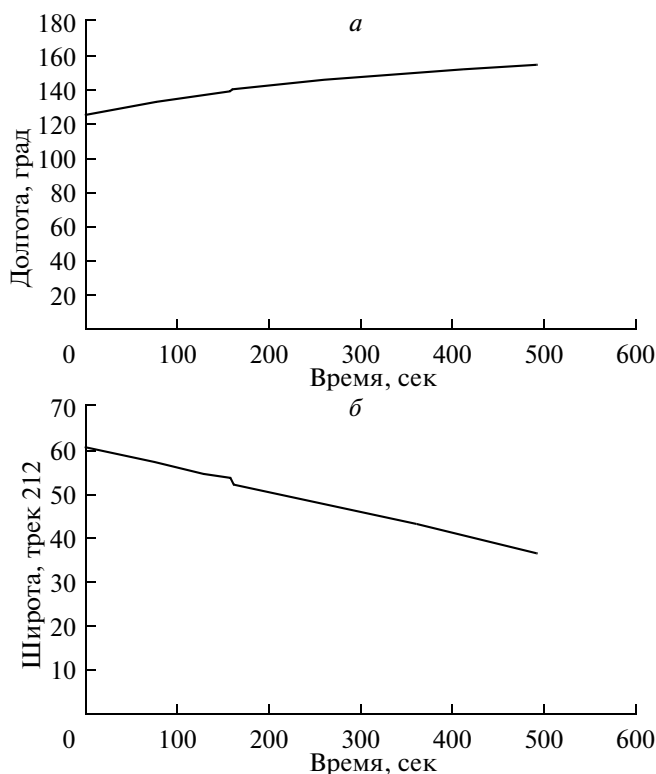


Рис. 2. Вариации во времени долготы (*a*) и широты (*б*) траектории спутника для трека 212 (цикл 60) Время в градусах широты, проходимых со средней скоростью спутника. Участок траектории над о. Сахалин и Охотским морем.

риаций координат вычесть детерминированную компоненту, полученную в результате сглаживания по 24 точкам наблюдения.

Результат вычитания показан на рис. 3. На рисунке отчетливо выделяются три различных типа вариаций. Первый тип — это непрерывные колебания примерно постоянной амплитуды с характерным расстоянием изменения порядка 20 км, второй тип — это несколько резких импульсов сравнительно большой амплитуды, третий тип — это сравнительно медленные вариации средней линии колебаний с характерной амплитудой, в 10 раз меньшей амплитуды самих колебаний. Если сравнивать наблюдаемую амплитуду отклонений и ее теоретическую оценку для о. Сахалин, то очевидно, что теоретической оценке соответствуют медленные вариации средней линии колебаний. Именно эти вариации можно рассматривать как опознанный сигнал и использовать в целях геофизических измерений. Однако для проведения таких измерений желательно разработать технологию вычитания помехи. Такие технологии составляют главную часть спутниковой геофизики (PORSEC, 2008). Для ее разработки необходимо исследовать свойства поме-

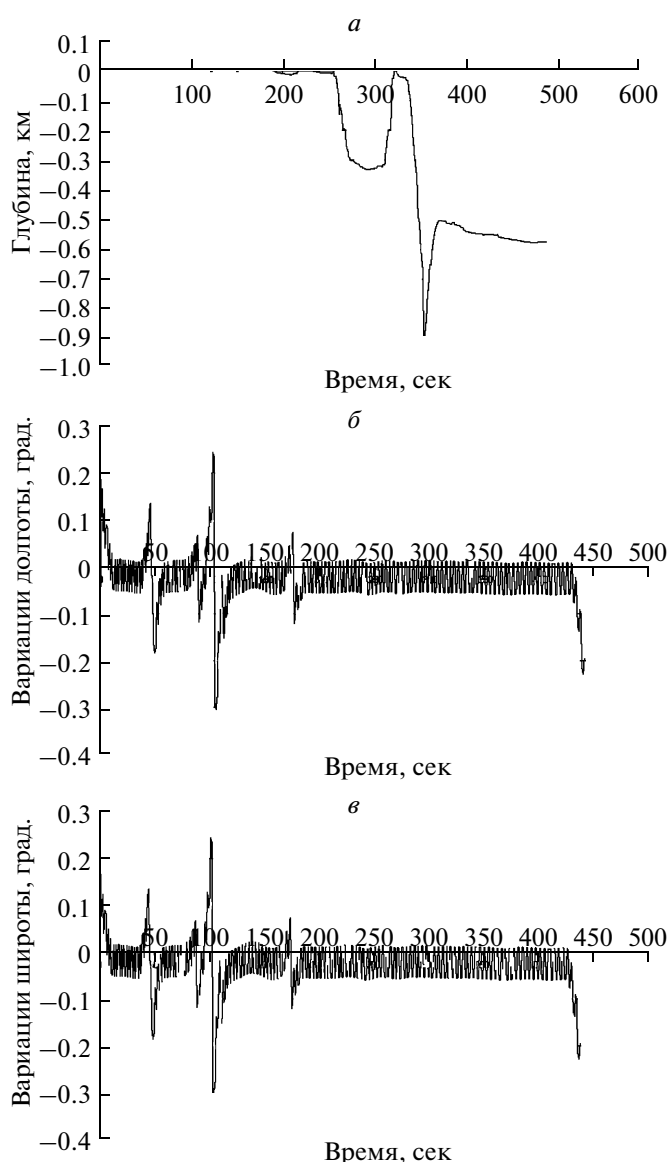


Рис. 3. Отклонения траектории спутника при прохождении трека 212 (цикл 60): *a* — глубина бассейна под точкой траектории; *б* — вариации долготы спутника; *в* — вариации широты спутника. По оси абсцисс отложено время, выраженное в секундах.

хи. Результаты этого исследования представлены в следующем параграфе.

СВОЙСТВА КОЛЕБАНИЙ ТРАЕКТОРИИ СПУТНИКА МИССИИ ТОПЕКС-ПОСЕЙДОН

Анализ пространственной и временной зависимости периодической непрерывной компоненты вариаций траектории проведен по результатам регистрации вариаций траектории для треков 025, 60 и 217, пересекающих о. Сахалин и Японское море. Используемые для анализа участки треков показаны на рис. 4. На рис. 5 показаны вариации широты

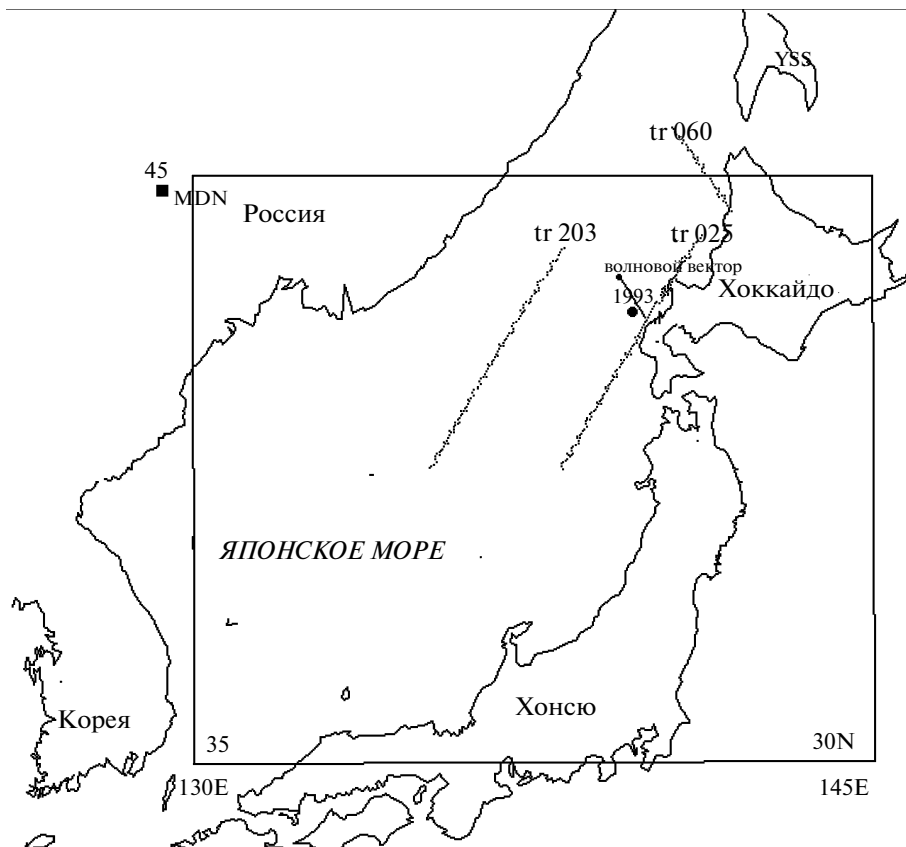


Рис. 4. Участки треков 025, 203 и 060 на карте Японского моря, использованные для исследования пространственной и временной зависимости колебательной помехи. На карте указано положение эпицентра землетрясения 12 июля 1993 г. и сейсмических станций MDN и YSS.

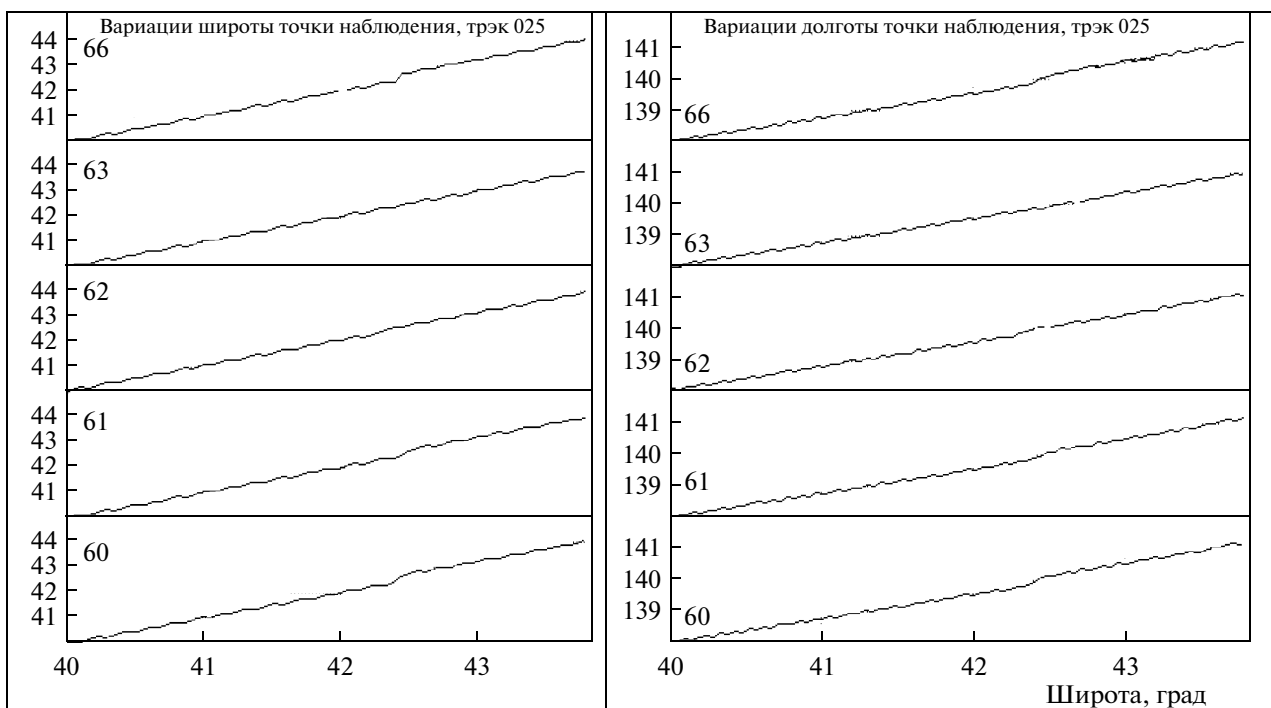


Рис. 5. Вариации широты (слева) и долготы (справа) траектории спутника для трека 025 для различных циклов. Номер цикла показан у начала соответствующей кривой.

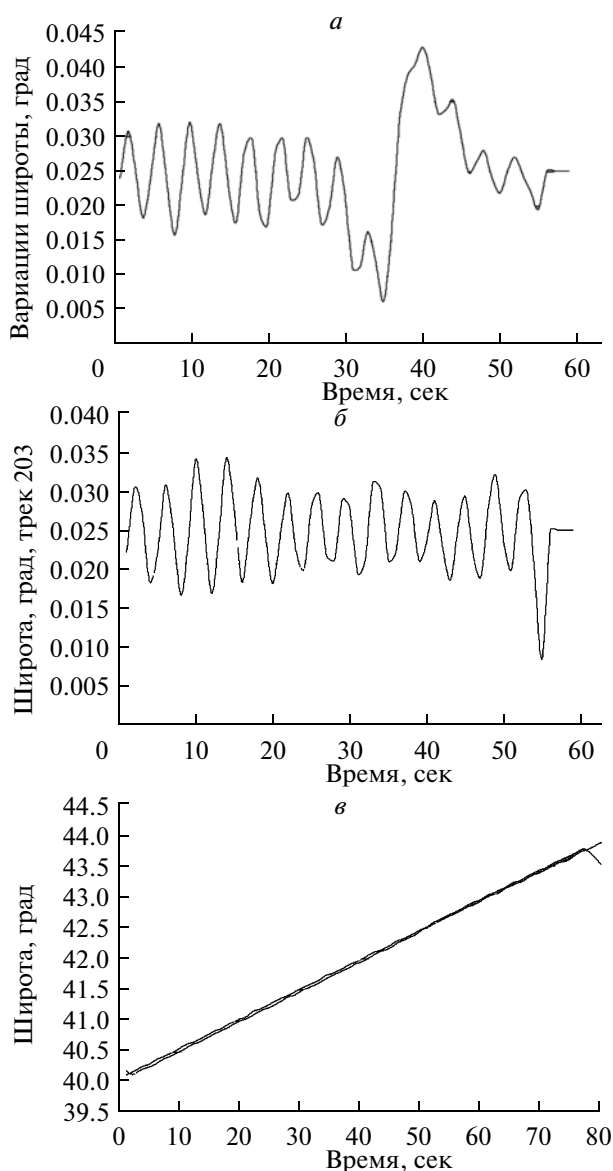


Рис. 6. Колебания широты вдоль траектории для треков 025 (а) и 203 (б, в).

и долготы, полученные при прохождении различных циклов трека 025, пересекающего о. Хоккайдо и проходящего мимо о. Окусири. Внимание к треку связано с известным землетрясением 12 июля 1993 г. (Иванов, 1995).

Первое свойство состоит в том, что периоды колебаний вариаций широты и долготы отчетливо различны. Период случайной компоненты вариаций долготы примерно вдвое меньше периода колебаний вариаций широты (рис. 5).

Это обстоятельство естественно в том случае, если указанные колебания не связаны с колебательными движениями самого спутника. Вероятный

источник эффекта — геофизические особенности планеты Земля.

Второе свойство состоит в том, что эти вариации сравнительно устойчивы во времени, и форма и временные характеристики колебаний мало изменяются от цикла к циклу. Каждый цикл соответствует движению спутника над одним и тем же участком земной поверхности. Номер цикла соответствует задержке траектории от момента запуска миссии (сентябрь 1992 г.). Интервал времени между циклами = 9.915 сут.

Видно, что колебания траектории имеют одинаковые временные и амплитудные характеристики для различных циклов. Более того, расположение импульсной помехи большой амплитуды одинаково для всех циклов. Используются материалы наблюдения трека 025, проходящего между 40° и 45° с.ш. и пересекающего Японское море. Траектория показана на рис. 4.

Третье свойство состоит в том, что вариации на соседних треках имеют одинаковые временные и амплитудные характеристики. Это свойства иллюстрируется на рис. 6, где показаны колебания широты вдоль траектории для треков 025 и 203.

Видно, что колебательная компонента примерно одинакова для обоих треков, в то время как импульсная помеха наблюдается только на треке 025, который пересекает границу вода—суша на о. Хоккайдо.

Более детальные характеристики помехи выявляются при спектральном анализе кривых. Пространственные спектры вариаций широты для различных циклов трека 025 показаны на рис. 7. Видно, что для всех циклов спектры распадаются на два участка — высокочастотный и низкочастотный, и что расположение участков одинаково для различных циклов. Оба участка довольно широкополосные.

Амплитуды спектральных компонент, соответствующих низкочастотной полосе, соответствуют амплитудам оценочных сигналов, обусловленных неоднородностями земной поверхности. Высокочастотная полоса по диапазону частот и по амплитуде соответствует колебательной компоненте помехи. Поскольку для интерпретации сигнала, соответствующего низкочастотной полосе, используются импульсные представления (рефракция, подвижка), то для интерпретации необходимо разработать правила очистки сигнала от высокочастотной помехи. Такие алгоритмы составляют конструктивную часть спутниковой геофизики. Они излагаются в руководствах по использованию данных и ежегодно обсуждаются на конференциях PORSEC 9 (PORSEC, 2008). Стабильность помехи и слабая и прогнозируемая зависимость ее от номера цикла являются основой для построения таких методов.

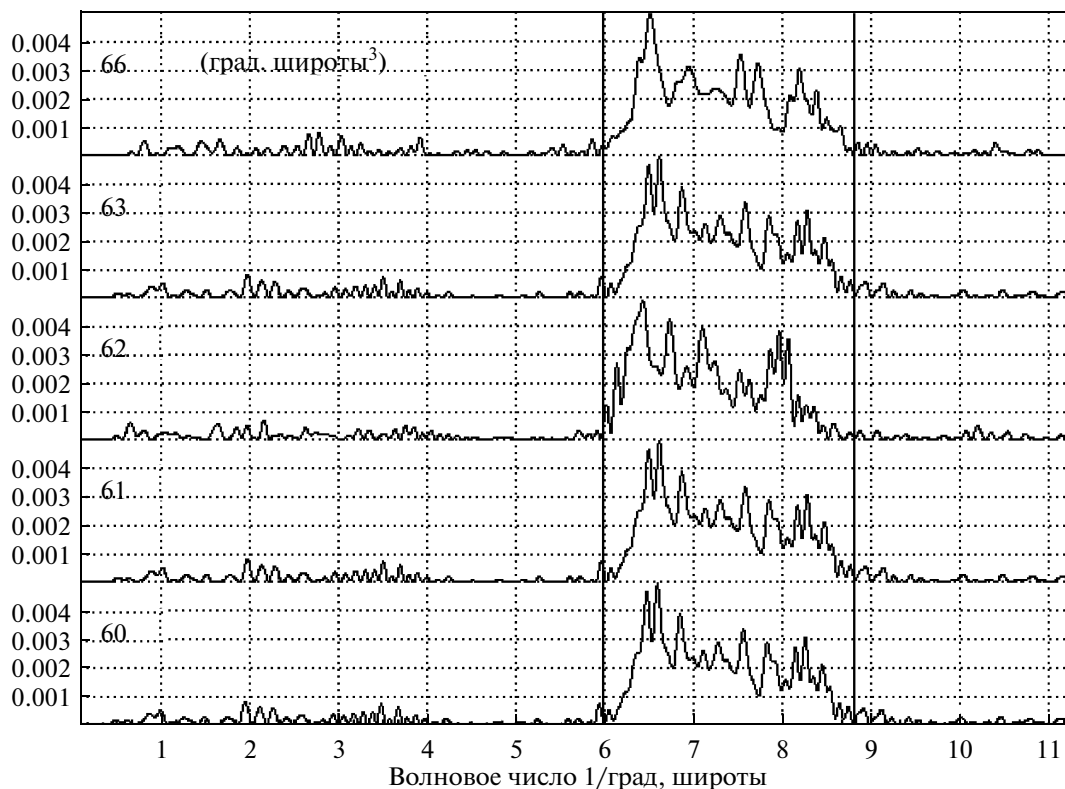


Рис. 7. Спектры вариаций широты для траектории 025 для различных циклов. Номер цикла поставлен рядом с соответствующей кривой. Спектры вычислены по участку траектории длиной в 15° с.ш.

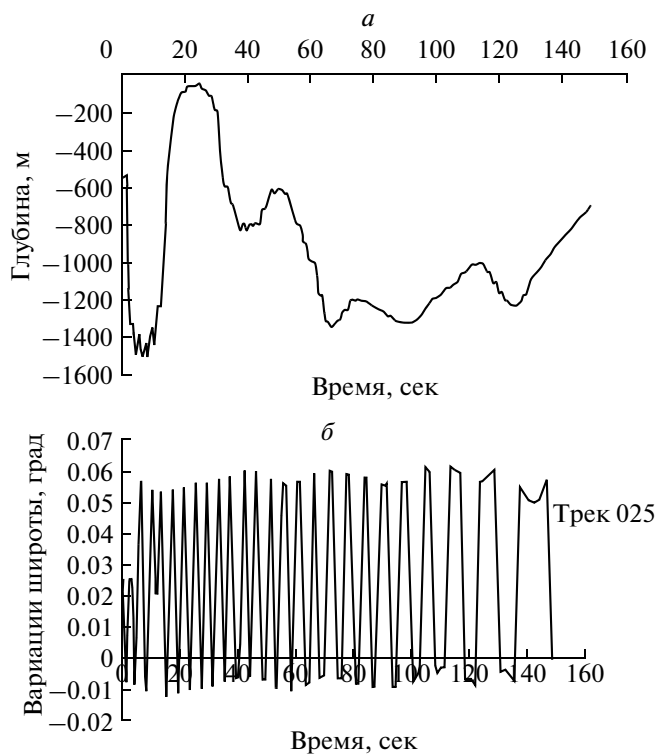


Рис. 8. Вариации колебательной компоненты траектории спутника при пересечении спутником Охотского моря по треку 025: *a* – зависимость глубины моря от широты в точке прохождения спутника; *б* – вариации широты точки наблюдения в зависимости от времени движения спутника.

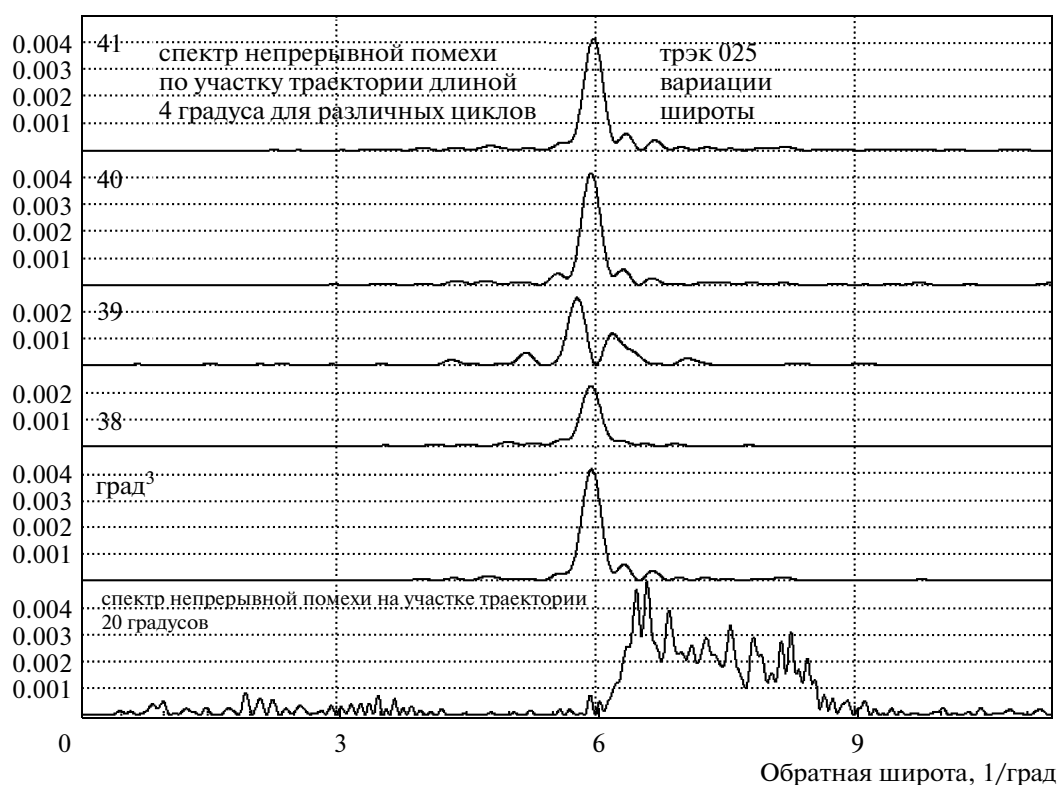


Рис. 9. Спектр сигнала колебательной помехи, зарегистрированной в файлах MGDR для различных циклов на участке трека 025. На нижней кривой показан спектр, вычисленный по участку траектории длиной 15° для того же трека (цикл 38). Номер кривой соответствует номеру цикла.

МЕТОД ОЧИСТКИ СИГНАЛА ВАРИАЦИЙ ТРАЕКТОРИИ СПУТНИКА ОТ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ПОМЕХИ

Из рис. 7 видно, что спектры полезного геофизического сигнала и колебательной помехи практически не пересекаются. Последнее означает, что такая помеха надежно вычитается. Для такого вычитания

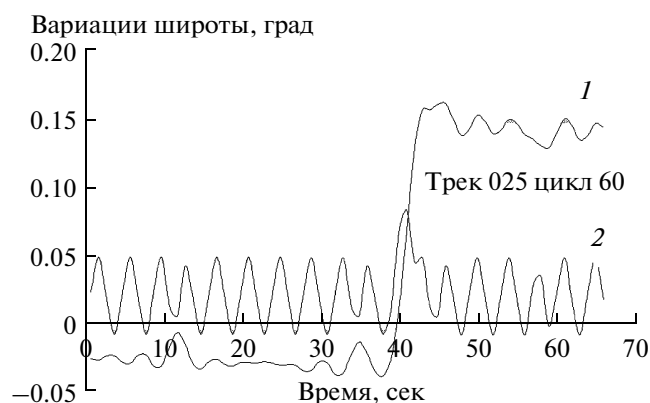


Рис. 10. Результат вычитания периодической компоненты вариаций траектории из записи вариаций широты трека 025 для участка между 40° и 44° с.ш. (1), вычитенная осцилляция (2).

в Институте морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГиГ ДВО РАН) разработан эффективный метод (Кайстренко, 2002), опирающийся на технологию последовательных спектров (Иванов, 2002). Однако ни эта технология, ни этот метод не используются достаточно широко и мало апробированы на практике. Поэтому ниже предложена упрощенная процедура, которая опирается на специфические особенности колебательной помехи. Эти особенности иллюстрируются на рис. 8, где показаны вариации колебаний широты точки траектории при пересечении спутником территории Охотского моря по треку 025.

На рис. 8 видно, что сигнал обладает специфическим свойством — квазимонохроматичностью, которое означает, что в основном это гармонические колебания, частота которых медленно изменяется со временем. Для такого сигнала характерной особенностью является аномальная зависимость ширины спектра от длительности отрезка наблюдения сигнала. В общем случае, если сигнал короче, то спектральный диапазон сигнала шире. В случае квазимонохроматического сигнала уменьшение длительности сигнала до определенных пределов сопровождается уменьшением ширины спектра. Последнее свойство отчетливо видно на материалах вычислений спектров, показанных на рис. 9. На

верхних кривых рисунка показаны спектры колебательной помехи, вычисленные по интервалу длиной 4° (40° – 44° с.ш.). На нижней кривой показан спектр, вычисленный по интервалу длиной 16° (40° – 57° с.ш.). Видно, что спектр сигнала по короткому интервалу намного уже, чем спектр сигнала по большому интервалу. Это обстоятельство позволяет, изменяя диапазон наблюдения, добиваться лучшей очистки сигнала с использованием вычитания из сигнала единственной гармоники, частота, амплитуда и фаза которой соответствует характеристикам максимума спектра.

Эта особенность спектра позволяет сформулировать понятие частоты колебаний, которая зависит от точки наблюдения. При этом каждой точке (размером в несколько градусов) можно сопоставить значение максимума частоты спектра, вычисленного по интервалу времени длительностью $(d\omega/dt)^{-1/2}$. Характеристики этого спектрального максимума могут быть использованы для вычитания из результата наблюдения колебательной компоненты. Результат такого вычитания показан на рис. 10 (верхняя кривая) для трека 025 для 42° с.ш.

Видно, что при разумном выборе участка наблюдения (длина участка в 4°) периодическая компонента практически полностью вычитается при применении простейшей процедуры – вычитания колебаний, соответствующих максимуму спектра. То есть каждой точке пространства можно сопоставить характеристику – период колебаний траектории. Это векторная характеристика, так как периоды колебаний вариации широты и долготы траектории различны. Практически при анализе периодических систем используется не вектор периодов колебаний, а волновой вектор, компоненты которого равны значениям обратных периодов колебаний по долготе и по меридиану. Направление этого волнового вектора для участка траектории 025 вдоль берега о. Хоккайдо показано на карте, представленной на рис. 11. Видно, что линии равной фазы колебаний практически параллельны береговой линии.

Таким образом, со спутника наблюдаются периодические вариации неизвестного свойства земной поверхности, которые приводят к периодическим отклонениям траектории спутника. Эти вариации, по-видимому, представляют значительный научный интерес в геофизике.

О ГЕОФИЗИЧЕСКОМ ПРОИСХОЖДЕНИИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВАРИАЦИЙ СВОЙСТВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В том случае, когда наблюдаемое явление непонятно и не может быть истолковано как результат действия известных геофизических компонентов, главным вопросом исследования становится оценка достоверности полученных наблюдений. При анализе данных MGRD такой вопрос вполне зако-

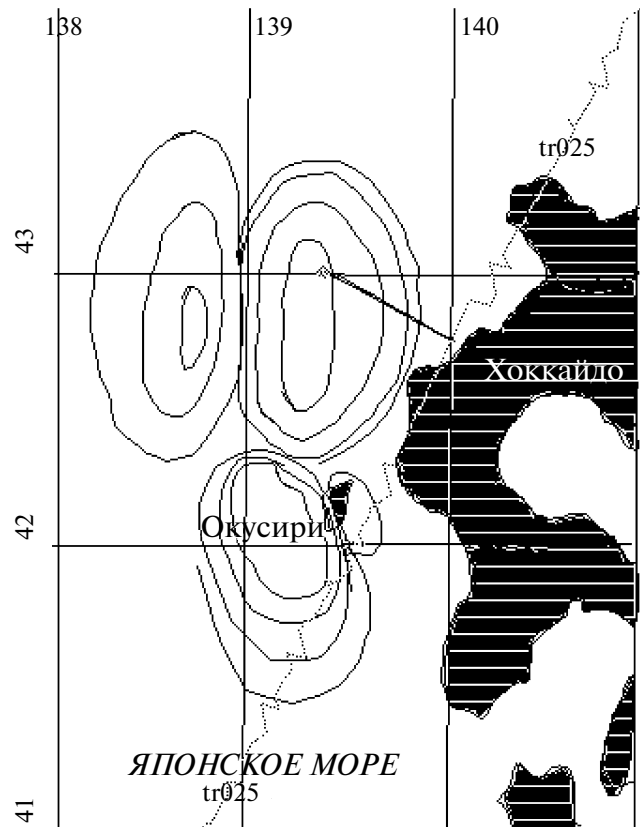


Рис. 11. Карта очага землетрясения 12 июля 1993 г., на которой указана траектория спутника (трек 025). Линия со стрелкой – волновой вектор колебаний; замкнутые линии – изолинии смещения уровня при землетрясении 12 июля 1993 г.

номерен. Хотя правила определения траектории спутника достаточно хорошо разработаны (Ricklefs, 2006), материалы наблюдения апробированы при использовании методики GPS, в процедуре толкования и записи спутниковых наблюдений остается много возможностей для ошибки интерпретации, записи и истолкования. В таких случаях для проверки достоверности рекомендуется на основе обнаруженного свойства сделать дополнительный прогноз, который никак не связан с процедурой получения основополагающих данных.

В настоящем параграфе предпринята попытка такого прогноза, причем свойством, которое проверяется, является периодичность вдоль поверхности Земли механического действия на объекты, в том числе на земную кору. В результате такого действия механические (упругие свойства) земной коры должны периодически изменяться в пространстве, причем направление вектора Браве (Прохоров, 1980в) этой периодической структуры должно совпадать с направлением построенного нами волнового вектора, а величина периода должна совпадать с наблюдаемым периодом колебаний вариации орбиты спутника. Предполагается, что периодичность

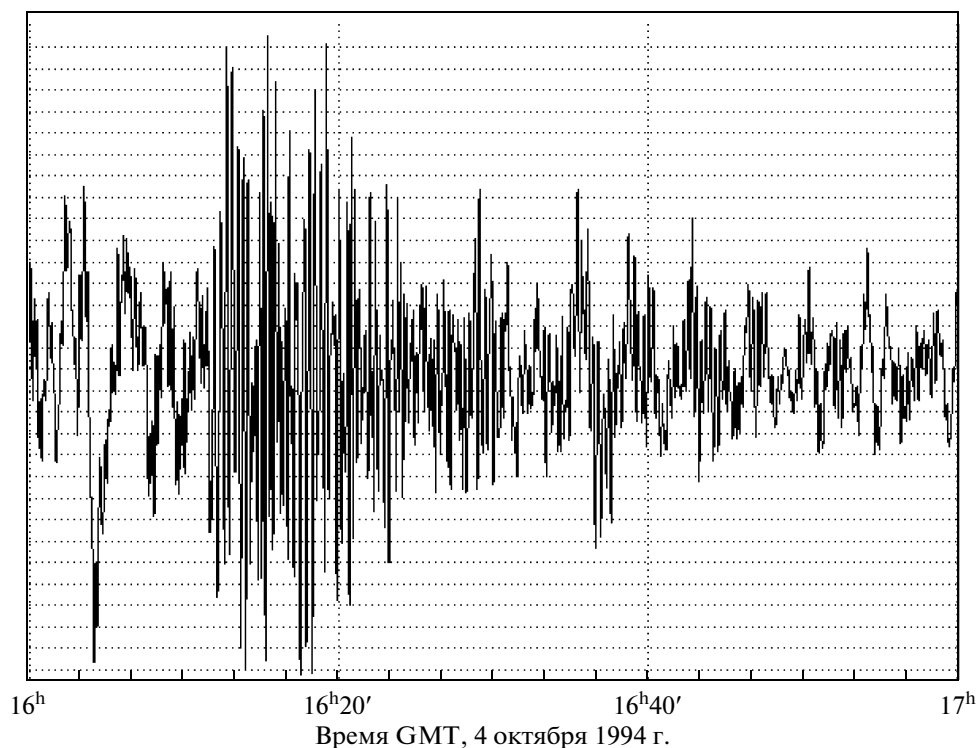


Рис. 12. Запись сейсмического сигнала землетрясения 12.10.1994 г. на станции Якутск. Использована запись колебаний в восточном направлении в течение 30 мин после момента прихода поверхностной волны. Ордината – запись скорости смещения в SAC-формате на станции IRIS.

одномерна и полностью определяется направлением вектора Браве.

Такая периодичность может быть обнаружена при исследовании распространения поверхностных сейсмических волн, в частности, сейсмических волн сильных землетрясений (Иванов, 1995; Иванов и др., 1997).

Действие среды на характеристики волны хорошо известно и является одним из важнейших источников информации в астрофизике. Оно сводится к появлению в спектре прошедшей волны линий поглощения на частотах собственных колебаний среды.

В случае, если среда периодична и действие на волну достаточно слабо, собственные частоты сре-

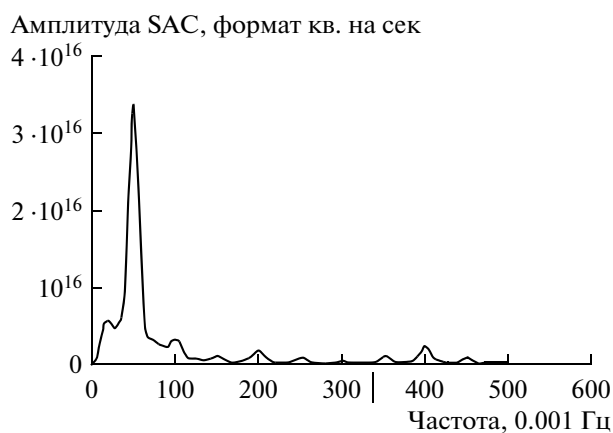


Рис. 13. Спектр записи поверхностной волны землетрясения 4 октября 1994 г., полученной на станции Якутск. Восточная компонента.

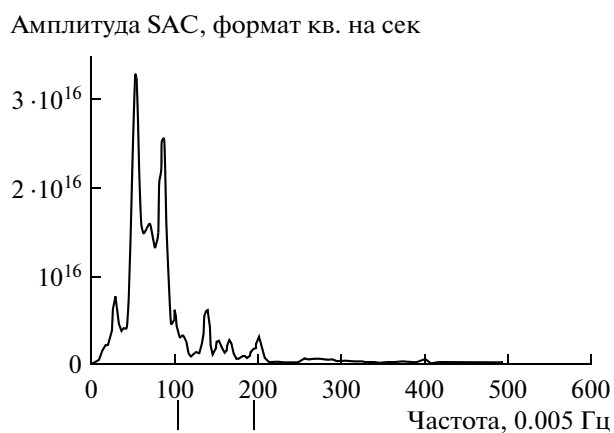


Рис. 14. Спектр записи поверхностной волны землетрясения 12 июля 1993 г., полученной на станции MDN. Восточная компонента.

ды, по которой проходит волна, вырождаются в узкие полосы, расположенные в окрестности гармоник времени прохождения волной периода решетки. Учитывая сказанное, прогнозировать можно появление спектра поглощения сейсмической поверхностной волны на частотах n/T , где T – время прохождения волной периода трассы, равное L/v ; L – период пространственной структуры; n – целое число; v – скорость поверхностных сейсмических волн.

Для анализа использованы материалы наблюдения сейсмических волн двух сильнейших землетрясений Курило-Камчатского региона за последнее десятилетие XX в. (Иванов, 1995; Иванов и др., 1997). Рассмотрены сейсмический сигнал землетрясения 12 июля 1993 г. в Японском море, зарегистрированный станцией системы IRIS в Муданжане, и сигнал землетрясения 4 октября 1994 г., зарегистрированный станцией системы IRIS в Якутске. Трассы распространения этих сигналов показаны на рис. 1, 4. Направления волн близки к трекам 060 и 212, сигналы зарегистрированы системой IRIS (Science plan, 1990) без насыщения. Запись сейсмического сигнала землетрясения 12.10.1994 г. на станции Якутск показана на рис. 12. Использована запись колебаний в восточном направлении в течение 30 мин после момента прихода поверхностной волны.

При регистрации сейсмического сигнала землетрясения 12.10.1994 г. на станции Якутск использована запись колебаний в восточном направлении в течение 30 мин после момента прихода поверхностной волны. Ордината – запись скорости смещения в SAC-формате на станции IRIS. По записи построен спектр.

Как известно, спектры поглощения Солнца были открыты в XIX в., когда спектры строились экспериментально с помощью дифракционных решеток. При таких построениях не используются сложные процедуры оценки спектра с разделением сигнала на несколько независимых участков с последующим усреднением результатов (Брилинджер, 1980). Как показано в (Иванов, 2002), такая процедура пагубно влияет на результаты анализа. В настоящей работе она не используется. Полученные спектры показаны на рис. 13, 14.

На рис. 13 показан спектр записи землетрясения 12.10.1994 г. На представленном участке содержится 1000 счетных точек. На кривой показан результат сглаживания по 20 точкам. Прямой линией около оси абсцисс показана частота гармоники времени прохождения поверхностной волной периода обнаруженной периодичности, построенного по данным трека 212. Величина периода 10.8 км. Для оценки скорости распространения волны использовано значение 3.3 км/с. Оценка произведена по моменту прихода фронта волны с использованием оценки положения

эпицентра JMA (Иванов, 1995). Величина периода = 3.1 с. В окрестности ожидаемого значения частоты наблюдается отчетливый минимум спектра.

Аналогичная процедура проделана по материалам регистрации землетрясения 12 июля 1993 г. в Японском море на станции MDN системы IRIS. Траектория спутника, расположение станции, эпицентр землетрясения и станция регистрации показаны на рис. 4.

Результат оценки периода равен 6.4 км, скорость распространения поверхностных волн 3.16 км/с, время прохождения периода 2.1 с. Частоты гармоники показаны линиями.

Видно, что в соответствующих точках спектра наблюдаются довольно отчетливые минимумы, которые с некоторыми натяжками можно рассматривать как линии поглощения. Так что, по-видимому, обнаруженная по спутниковым данным периодическая структура реально существует и является интересным геофизическим объектом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По материалам наблюдения вариаций траектории спутников миссии Топекс-Посейдон обнаружены три типа аномалий.

К первому типу аномалий отнесены вариации малой амплитуды (100 м) с характерными временами изменения в несколько секунд. По месту расположения и амплитуде они могут быть истолкованы как отклонения траектории, обусловленные неоднородностями земной поверхности, вызванными различиями плотности грунта и воды.

Ко второму типу могут быть отнесены импульсные аномалии, которые наблюдаются в моменты пересечения траектории и границы суша-вода. Они совпадают с ожидаемыми аномалиями по месту расположения, однако по амплитуде превосходят оценочные значения в десятки раз.

К третьему типу аномалий относятся квазипериодические аномалии, наблюдаемые всегда с амплитудой в несколько километров. Эти аномалии квазигармоничны, период колебаний составляет несколько секунд и изменяется в зависимости от расположения точки съема. Аномалии хорошо устраняются из записи при вычитании монохроматической помехи на участке величиной 4° . Возможно, аномалии имеют геофизическое происхождение. Проведена попытка подтверждения естественного происхождения периодической компоненты. Построен спектр поглощения сейсмического излучения сильных землетрясений при регистрации на станциях системы IRIS. Прогнозируемые линии обнаружены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Борн М.* Атомная физика. М.: Наука, 1970. 540 с.
- Браун Д., Массет Ф.* Недоступная Земля. М.: Мир, 1984. 261 с.
- Бриллинджер Д.* Временные ряды. Обработка данных и теория. М.: Мир, 1980. 535 с.
- Галицкий В.М., Никитин Е.Е., Смирнов Б.М.* Теория столкновений атомных частиц. М.: Наука, 1981. 320 с.
- Давыдов А.С.* Теория атомного ядра. М.: Физматгиз, 1958. 450 с.
- Иванов В.В.* Движение сейсмического источника землетрясения 12 июля 1993 года в Японском море // *Физика Земли*. 1995. № 11. С. 3–17.
- Иванов В.В., Михайлова Т.Г., Храмушин В.Н.* Эволюция землетрясения 4 октября 1994 года // Проявление конкретных цунами / Под ред. К.Ф. Сергеева. Южно-Сахалинск: ИМГиГ, 1997. С. 155–170.
- Иванов В.В.* Интерпретация спутниковых измерений вариаций уровня моря // *Исслед. Земли из космоса*. 2003. № 3. С. 41–53.
- Иванов В.В.* Периодические вариации погоды и климата // *Успехи физ. наук*. 2002. Т. 172. С. 777–811.
- Иванова Е.В., Иванов В.В., Пищальник В.М., Любичский Ю.В.* Периодическая структура поверхностных течений на шельфе Сахалина: верификация // *Исслед. Земли из космоса*. 2003. № 3. С. 1–8.
- Кайстренко В.М.* Отчет по Курильской программе. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2002. 150 с.
- Прохоров А.* Физический энциклопедический словарь // *Рефракция волн*. М.: Сов. энциклопедия, 1983. С. 930.
- Прохоров А.* Физический энциклопедический словарь // *Резерфорда формула*. М.: Сов. энциклопедия, 1983. С. 930.
- Прохоров А.* Физический энциклопедический словарь // *Браве решетки*. М.: Сов. энциклопедия, 1983. С. 930.
- Прохоров А.* Физический энциклопедический словарь // *Спектральные линии*. М.: Сов. энциклопедия, 1983. С. 930.
- Benada R.* Physical oceanography distributed active archive center. PO.DAAC. Merged GDR (TOPEX/Poseidon) users handbook. Version 1.0 // JPL/California Institute of Technology, 1993. P. 170.
- PORSEC 2008 // *Proceedings*. Guangzhou, China, 2008. 105 p.
- Science plan for a new global seismographic network // *IRIS*. Washington, 1984. 110 p.
- Ricklefs R.L.* Consolidated Laser Ranging Prediction Format. Version 1.01 // ILRS Prediction Format Study Group. Center for Space Research. Univ. of Texas. 2006. 37 p.

The Variations of Satellite Trajectory as a Geophysical Information

V. V. Ivanov

Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk

The variations of satellite trajectory are investigated by data of satellite mission Topex-Poseidon. The information about geophysical objects is regarded. The possible sources of trajectory perturbation are estimated by using the simple model. The model proposes that the perturbation is constructed by the non-homogeneity of mass distributions along the earth's surface. The trajectories of tracks 212, 034, 025, 203, 060 in the range of latitude from 40° to 60° have been investigated for period from 1992 to 2003. The anomalies of trajectories have been discovered. The anomalies can be distributed into 3 types. The anomalies of the first type are the variations with amplitude 100 m and characteristic times of several decades of seconds. The positions of anomalies and amplitudes can be associated with theoretical estimations. The anomalies of the second type are the jumps of coordinates, which is raising on the transitions between land and sea surfaces. The time of peculiarity is the same as theoretical, but the amplitude is ten times more. The anomalies of the third type are the quasi-periodic deflections with amplitude of several hundreds of meters. The period of oscillations do not changes from cycle to cycle and depends on the latitude of the observation point. The hindrance can be reduced by special procedure. The attempt to check the origin of hindrance has been carried on. If the periodicity is the feature of the earth surface then the seismic radiation of the great earthquakes contains the bands of absorbing. These bands have been discovered on the IRIS records of the earthquakes July 12, 1993 and October 04, 1994.

Keywords: satellite mission Topex-Poseidon, trajectory perturbation, geophysical objects, earthquakes, Sakhalin Island, Okhotsk Sea