

В. Б. Синицкий

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ СПУТНИКОВ GPS ПОД МАЛЫМИ УГЛАМИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ

Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины  
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина  
E-mail: [vs@ire.kharkov.ua](mailto:vs@ire.kharkov.ua)

Представлены результаты натуральных измерений сигналов спутников GPS при их заходе над поверхностью моря. Показана временная изменчивость диффузной компоненты рассеянного морем сигнала, а также ее связь со скоростью ветра в районе измерений. Ил. 6. Библиогр.: 12 назв.

**Ключевые слова:** спутники GPS, метод скользящего среднего, диффузная компонента сигнала, диагностика морского волнения.

В последние десятилетия активно развиваются методы дистанционного исследования свойств окружающей среды – тропосферы и морской поверхности. Существенную роль в этом играют спутниковые методы, в том числе использующие излучение современных навигационных систем GPS и ГЛОНАСС, имеющих высокоточную координатно-временную привязку. Например, для дистанционного определения параметров атмосферы используют прием сигналов GPS на низкоорбитальном спутнике по методу радиопросвечивания [1], а для измерения скорости ветра над океаном – анализ характеристик сигналов GPS, полученных в схеме спутник – поверхность – самолет [2]. Также в ряде случаев представляет интерес наблюдение излучения GPS с берега, под углами, близкими к горизонту, т. е. с использованием излучения заходящих (восходящих) спутников. Эксперименты по такой схеме были выполнены в наших работах [3, 4] с целью исследования тропосферной рефракции в приводном слое. Дополнительная обработка полученного в указанных работах экспериментального материала может быть полезной для изучения характеристик спутниковых сигналов, рассеянных поверхностью моря.

Цель работы – оценка возможностей метода диагностики морского волнения по излучению спутников GPS под малыми углами на основе данных натуральных экспериментов.

### 1. Аппаратура и методика измерений.

Для исследования эффектов распространения в нижнем приводном слое атмосферы была применена методика регистрации сигналов GPS при их заходе с записью последнего участка около горизонта (от углов места 15...30° до значений, близких к нулю). При расположении измерительных пунктов на небольшой высоте особенность задачи состоит в существенном отражении от поверхности.

Прием сигналов GPS диапазона L1 ( $f = 1\,575,42$  МГц) осуществлялся приемником типа ACE-III фирмы *Trimble Navigation*, выполненном в одном блоке с антенной круговой поля-

ризации *Bullett*-III, которая установлена на высоте  $h_a = 14,4$  м. Регистрация уровня сигнала производилась в условных линейных единицах (AMU) с периодом отсчетов 1 с. Эксперименты проведены на берегу Черного моря в июле 2002 г. Продолжительность сеансов обычно составляла 30...60 мин.

В работе используются данные гидрометеорологического центра, расположенного на удалении 8 км от измерительного пункта.

### 2. Обработка и обсуждение результатов измерений.

Для описания процессов в схеме измерений источник – морская поверхность – приемник разработана модель [5, 6], представляющая полное поле  $A$  в виде векторной суммы прямого сигнала  $D$ , когерентно отраженного от поверхности «зеркального» сигнала  $C$  и диффузной (некогерентной) компоненты  $I$ . Модель разработана применительно к стационарным трассам (с неподвижными корреспондирующими пунктами) в предположении о стационарном во времени характере процессов и о подчинении флуктуаций диффузной компоненты гауссовому закону распределения. Задача модели и соответствующих экспериментов заключалась в установлении свойств различных компонент сигналов в функции параметра шероховатости  $q = \sigma_h \sin \psi / \lambda$  ( $\sigma_h$  – высота морских волн,  $\psi$  – угол скольжения в точке зеркального отражения,  $\lambda$  – длина радиоволны) с целью определения возможности диагностики морского волнения по характеристикам радиосигналов. Подобная задача поставлена и в нашей работе с тем отличием, что используются сигналы передатчика, установленного на движущемся космическом аппарате – спутнике навигационной системы GPS.

В случае движущегося источника принцип стационарности нарушается, так как время пребывания сигнала в характерных точках оказывается меньше интервалов корреляции процессов в среде распространения [7]. С другой стороны,

при движении источника сигнал приобретает новое качество – зависимость компонент поля от времени, поэтому реализации  $A(t)$ , записанные при пролете спутника, должны иметь в своем составе квазигармоническую составляющую, связанную с интерференционной структурой. На рис. 1 показаны типичные реализации сигналов GPS, заходящих над поверхностью моря, в виде угломестных зависимостей  $A(\alpha)$ . Они преобразованы из временных записей  $A(t)$  с использованием эфемерид, записываемых перед началом сеансов, для удобства дальнейшего анализа и сравнения реализаций, полученных в разное время, при различных траекториях движения спутников.

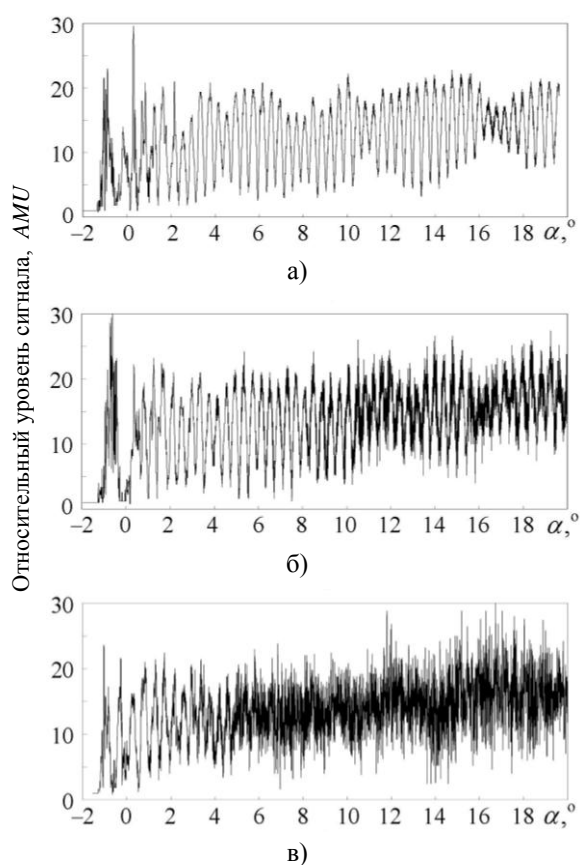


Рис. 1. Примеры реализаций сигналов заходящих спутников GPS при разной степени морского волнения: а) – штиль; б) – спокойное море; в) – умеренное волнение

Далее при обработке данных будут использоваться оба вида зависимостей – временная и угломестная. Процедуры сглаживания удобнее проводить с временными рядами, а окончательное представление и интерпретацию результатов вычислений – в функции угла места. При этом для большинства траекторий спутников сохраняется примерное соответствие  $\sim 1^\circ/3$  мин (или  $\sim 0,1$  мрад/с).

Как видно из рис. 1, интерференционная (лепестковая) структура сигнала замыта флуктуациями, характер и интенсивность которых различны в разных сеансах и определяются в основном состояниями тропосферы и морской поверхности. Особенности флуктуаций и искажений сигналов на самых нижних лепестках перед заходом определяются влиянием тропосферы [3, 4], а при углах места больше примерно  $2^\circ$  флуктуации связаны с разной степенью морского волнения, определяемой визуально: от штиля (рис. 1, а) до волнения около 3 баллов (рис. 1, в). Каждая из реализаций представляет собой сложный нестационарный процесс, имеющий нестационарность по среднему значению, дисперсии, закону распределения, так как эти характеристики зависят от угла места.

Рассмотрим обработку, направленную на выделение флуктуационной (диффузной) компоненты из полного сигнала и определение ее среднеквадратического отклонения (СКО)  $\sigma_{\text{фл}}$ . В качестве примеров выберем два опыта, отличающиеся интенсивностью диффузной компоненты – от самой слабой до сильной в наших измерениях (рис. 2). Для разделения лепестковой структуры и флуктуационной составляющей используется фильтрация сигнала по частоте, которая в данном случае выполняется с применением метода скользящего среднего (МСС) на интервале  $\tau_1$  к исходной реализации  $A(t)$  (рис. 2, а, б). В результате получается «сглаженная» составляющая  $\overline{A(t, \tau_1)}$  (рис. 2, в, г), что эквивалентно применению фильтра нижних частот. После вычитания ее из исходного сигнала получаем флуктуационную составляющую  $\tilde{A}(t, \tau_1) = A(t) - \overline{A(t, \tau_1)} = I(t, \tau_1)$  (рис. 2, д, е), так что вся процедура эквивалентна применению фильтра верхних частот.

Такая фильтрация, устраняющая плавный тренд и низкочастотную составляющую, обусловленную интерференционной (лепестковой) структурой, возможна в частном случае, когда характерный период флуктуаций диффузной компоненты  $T_{\text{диф}}$  значительно меньше периода интерференционных лепестков  $T_{\text{инт}}$ , что реализуется при сравнительно низком расположении приемной антенны над уровнем моря. Для эффективной фильтрации надо подобрать такой интервал сглаживания  $\tau_1$ , чтобы он был меньше  $T_{\text{инт}}$  и больше  $T_{\text{диф}}$ , т. е.  $T_{\text{диф}} < \tau_1 < T_{\text{инт}}$ . Это условие в сочетании с периодом регистрации данных при записи реализации GPS (1 с) накладывает ограничение на высоту приемной антенны. Согласно оценкам, с учетом углового размера интерференционного лепестка  $\Delta\alpha \approx \lambda/2h_a$  и скорости изме-

нения угла места спутника по отношению к наблюдателю  $v_\alpha \approx 0,1$  мрад/с, реальная высота антенны не должна превышать  $\sim 30..40$  м.

Например, в наших опытах при экспериментально подобранной величине  $\tau_1 = 7$  с частота флуктуаций диффузной компоненты

после фильтрации заключена в пределах от  $f_H \approx 1/\tau_1 \approx 0,15$  Гц до верхней частоты  $f_B \approx 0,5$  Гц, в то время как частота, соответствующая квазипериоду лепестковой структуры и связанная с  $h_a$ ,  $\lambda$  и  $v_\alpha$ , составляет величину около  $0,015$  Гц.

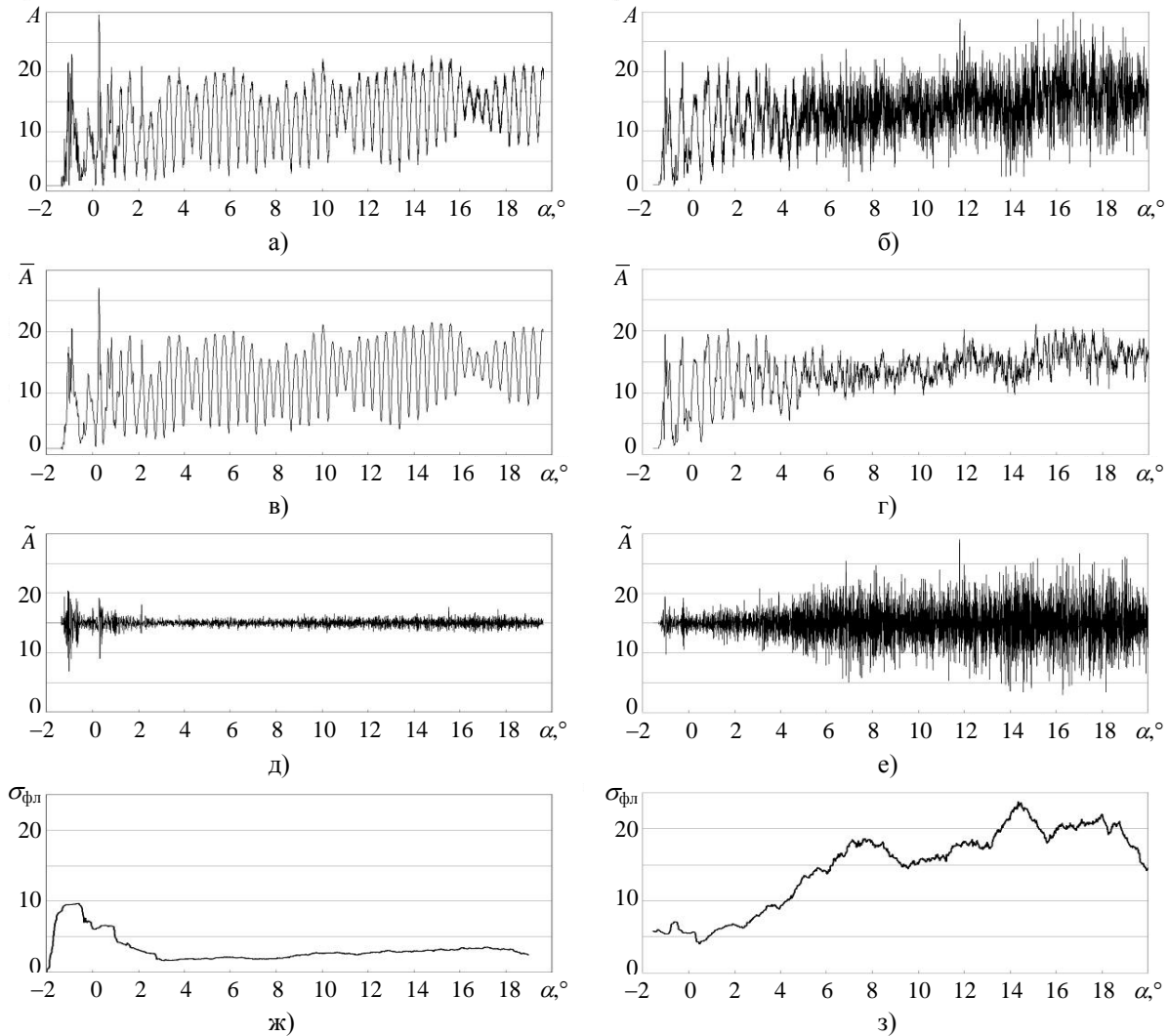


Рис. 2. Пример обработки реализаций заходов GPS над морем для двух опытов с отличающейся интенсивностью морского волнения: а, в, д, ж) – штиль; б, г, е, з) – умеренное волнение; а, б) – исходные реализации  $A(\alpha)$ ; в, г) – сглаженные реализации по МСС  $\bar{A}(\alpha)$ ; д, е) – диффузные компоненты  $\tilde{A}(\alpha)$ ; ж, з) –  $\sigma_{\text{фл}}$  (СКО) диффузных компонент

Интенсивность флуктуационной компоненты согласно [5, 6] равна  $\bar{I}^2 = 2\sigma_{\text{фл}}^2$ . Для оценки текущего значения СКО  $\sigma_{\text{фл}}$  флуктуаций [8], показанных на рис. 2, д, е, вторично применяется МСС – в широком окне  $\tau_2$ :

$$\sigma_{\text{фл}}(t, \tau_1, \tau_2) = \left( \frac{\bar{I}^2}{2} \right)^{1/2} = \left[ 0,5 \overline{I^2(t, \tau_1, \tau_2)} \right]^{1/2}. \quad (1)$$

Величина  $\tau_2$  подбирается из компромиссных соображений достаточного усреднения характеристики  $I(t, \tau_1)$  и минимального воздействия МСС на конечных участках реализации. Практически для выполнения этих условий принята величина  $\tau_2 = 600$  с.

Указанная обработка произведена для временных рядов с дальнейшим переходом к ха-

рактическим в функции угла места  $\alpha$ , который при условиях малой  $h_a$  и  $\alpha \geq (1...2)^\circ$ , существенных для данной задачи, практически равен углу скольжения,  $\alpha \approx \psi$  [6, 7].

Общий характер определенных СКО в функции угла места  $\sigma_{\text{фл}}(\alpha)$  показан на рис. 2, ж, з. По ним может быть рассчитана характеристика экспериментального нормированного коэффициента диффузного рассеяния, фактически определяемого в работе [6]:

$$\xi_{\Sigma}(\alpha) = \frac{\sigma_{\text{фл}}(\alpha)}{D(\alpha)\rho_0(\alpha)} = \frac{\rho_d(\alpha)}{\rho_0(\alpha)}, \quad (2)$$

где  $\rho_d(\alpha) = \frac{\sigma_{\text{фл}}(\alpha)}{D(\alpha)}$  – коэффициент диффузного рассеяния;  $D(\alpha)$  – текущее среднее значение сигнала в окне усреднения  $\tau_2$ ;  $\rho_0(\alpha)$  – френелев коэффициент отражения.

Результаты расчета  $\xi_{\Sigma}(\alpha)$  для 32 реализаций заходов GPS представлены на рис. 3.

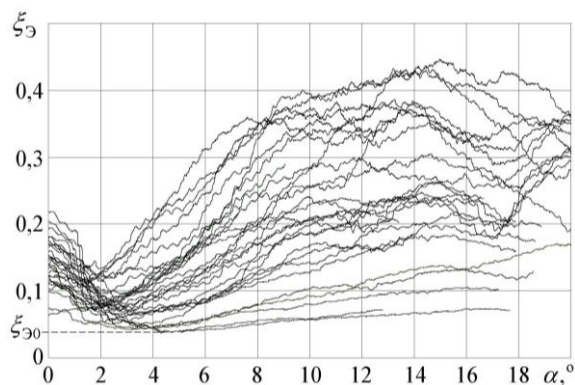


Рис. 3. Экспериментальный нормированный коэффициент диффузного рассеяния, обработка 32 реализаций заходов GPS;  $\xi_{\Sigma_0}$  – уровень флуктуационного «пьедестала»

Из него следует, что общий вид кривых, рассчитанных в режиме динамического зондирования со спутниками GPS, подобен характеру зависимостей, которые получены на стационарных трассах разной протяженности в различных частотных диапазонах [6, 8–10].

Представленные на рис. 3 кривые имеют некоторые особенности:

- видны медленные флуктуации СКО на больших углах, вызванные, возможно, локальными изменениями интенсивности отражений на разных участках моря;

- при приближении к нулевым углам характеристика СКО не стремится к нулю, а имеет «пьедестал», обусловленный отличающимся от нуля уровнем флуктуаций. Факт отличия от нуля

флуктуаций, связанных с морским волнением, отмечался в ряде работ, например [7–9, 11]. В нашем случае «пьедестал» формируется также влиянием тропосферной турбулентности, вследствие значительной протяженности тропосферного участка на трассе распространения радиоволн от спутника до приемной антенны. На рис. 3 видна тенденция изменения интенсивности флуктуаций, обусловленных каждой из компонент – морской и тропосферной, а также уровень «пьедестала»  $\xi_{\Sigma_0}$ , который в данной серии измерений составляет величину около 0,04.

Одна из возможностей определения степени морского волнения по сигналам спутников заключается в сопоставлении полученных экспериментальных данных с результатами работ по исследованию характеристик рассеянных морем сигналов, выполненных в контролируемых условиях. Для этого воспользуемся обобщающими зависимостями коэффициента диффузного рассеяния от параметра шероховатости, приведенными в литературе. Например, в работах [10, 12] приведен график, а в работе [9] предложена аппроксимация для нормированного коэффициента диффузного рассеяния в функции параметра шероховатости:

$$\xi_a(q) = \frac{\rho_d}{\rho_0} = 0,794q + 108,3q^2 - 1094q^3 + 3024q^4, \quad q \leq 0,137; \quad (3a)$$

$$\xi_a(q) = 0,4, \quad q \geq 0,137. \quad (3b)$$

График функции  $\xi_a(q)$  изображен на рис. 4, а, кривая 1.

Согласование аппроксимирующих кривых с экспериментальными данными нашей работы, имеющими «пьедестал» на уровне  $\xi_{\Sigma_0}$ , можно произвести, введя, например, новую функцию  $\xi_a'(q)$ ; она получается добавлением к выражению (3a) эмпирически подобранного слагаемого  $0,04 \exp(-30\alpha)$ , убывающего с ростом  $\alpha$ :

$$\xi_a'(q) = \xi_a(q) + 0,04 \exp(-30\alpha), \quad q \leq 0,137; \quad (4a)$$

$$\xi_a'(q) = 0,4, \quad q \geq 0,137. \quad (4b)$$

Это иллюстрирует кривая 2 на рис. 4, а.

Учитывая, что в наших опытах  $\lambda \approx 0,19\text{ м} = \text{const}$ , можно по функции  $\xi_a'(q)$  рассчитать семейство зависимостей  $\xi_a'(\alpha)$  при различных параметрах  $\sigma_h$  (рис. 4, б).

Обозначенные на рисунке кривые 1–4 соответствуют: 1 –  $\sigma_h = 0,01\text{ м}$ ; 2 –  $\sigma_h = 0,05\text{ м}$ ; 3 –  $\sigma_h = 0,1\text{ м}$ ; 4 –  $\sigma_h = 0,2\text{ м}$ ; тонкие линии представляют интерполированные значения.

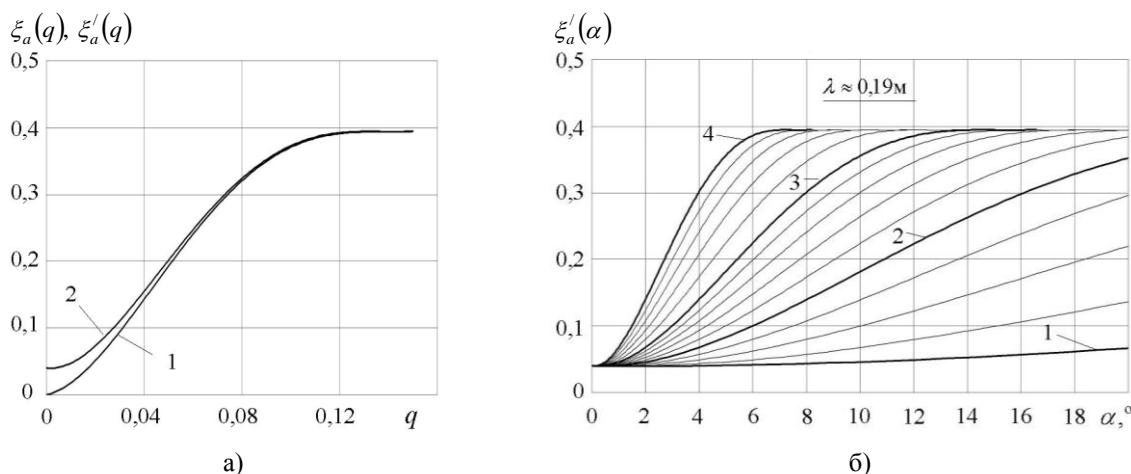


Рис. 4. Зависимости, аппроксимирующие нормированный коэффициент диффузного рассеяния: а) – в функции параметра Рэлея  $q$ : 1 – исходная кривая; 2 – уточнение для опытов с *GPS*; б) – в функции угла места спутника  $\alpha$  при  $\lambda \approx 0,19$  м и разных параметрах  $\sigma_h$

Из рисунка следует, что информативный участок зависимости  $\xi'_a(\alpha)$  (до точки перегиба, определяемой критическим углом  $\alpha_{кр}$  [12]) при увеличении  $\sigma_h$  смещается в сторону меньших углов.

Определение параметра  $\sigma_h$  по реализациям заходов *GPS* возможно путем сопоставления зависимостей  $\xi_\alpha(\alpha)$  и  $\xi'_a(\alpha)$  на информативном участке  $\xi'_a(\alpha)$ . Пример такого сопоставления показан на рис. 5.

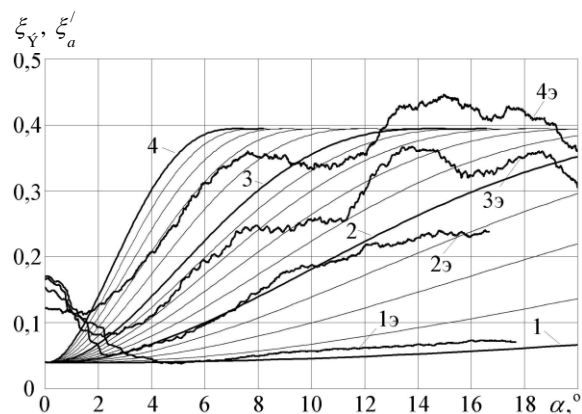


Рис. 5. Определение  $\sigma_h$  по сигналам *GPS* путем сопоставления экспериментальных реализаций  $\xi_\alpha(\alpha)$  с аппроксимирующими зависимостями  $\xi'_a(\alpha)$

Здесь приведены данные (кривые 1э–4э) для конкретных четырех опытов, измеренных при различной степени морского волнения; сетка кривых  $\xi'_a(\alpha)$  аналогична приведенной на рис. 4.

Отметим особенности сопоставления. В общем случае реальная экспериментальная

кривая  $\xi_\alpha(\alpha)$  флуктуирует и, как правило, не совпадает лишь с одной из параметрических зависимостей, а может занимать диапазон значений  $\sigma_h$ . Необходимо отметить также, что наибольшая чувствительность интенсивности флуктуаций к морскому волнению имеет место в интервале  $\sigma_h = 0,01 \dots 0,1$  м (рис. 4, б, 5), что соответствует диапазону от штиля до слабого волнения [12]. Дальнейший переход к умеренному волнению сопровождается уменьшением крутизны нарастания  $\sigma_h$ , а при сильном волнении кривые сливаются. Этот фактор может быть ограничивающим для данного метода диагностики морского волнения по сигналам *GPS* при использовании схемы измерений под малыми углами.

Среднесуточные значения  $\sigma_h$ , найденные описанным способом в приведенной серии экспериментов и обозначенные далее  $\overline{\sigma_{h(GPS)}}$  (рис. 6, кривая 1), показывают временную изменчивость волнения, определенного по интенсивности диффузной компоненты сигнала *GPS*.

Так как высота морских волн  $\sigma_h$  в значительной мере определяется скоростью ветра  $v_B$  [7, 12], сопоставим найденные значения  $\overline{\sigma_{h(GPS)}}$  со скоростью ветра в районе измерений. На рис. 6, кривая 2 показан временной ход среднесуточных (усредненных по МСС) значений  $\overline{v_B}$  по данным гидрометеоцентра, расположенного на расстоянии 8 км от измерительного пункта. Кривые 1 и 2 указывают в среднем на повторяемость зависимостей  $\overline{\sigma_{h(GPS)}}$  и  $\overline{v_B}$  при коэффициенте корреляции 0,58.

Таким образом, диапазон изменения СКО морских волн, оцениваемый по данным прове-

денного эксперимента, находится в пределах примерно от 0,01 до 0,15 м (от штита до легкого волнения). Для проверки метода при больших значениях волнения нужны дополнительные исследования в контролируемых условиях.

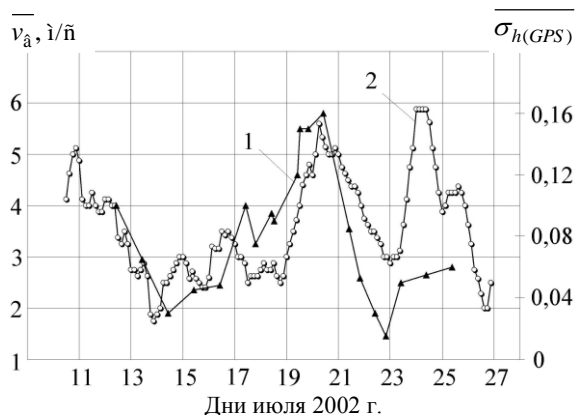


Рис. 6. Сопоставление СКО морского волнения, измеренного по заходам *GPS* в разные дни (кривая 1 – со скоростью ветра) по данным гидрометеоцентра, расположенной в 8 км от пункта измерений *GPS* (кривая 2 – усреднение за сутки)

Из результатов данной работы, а также предыдущих работ [3, 4] следует, что методика измерения характеристик заходящих сигналов *GPS* с берега моря (или корабля) является чувствительной к влиянию не только морского волнения, но и рефракции, поэтому может использоваться для дистанционной диагностики обоих эффектов. Ориентировочно можно указать, что информативным для задач рефракции является диапазон углов места ниже примерно  $1...2^\circ$ , а для морского волнения – выше этой границы. Указанные методы требуют дальнейшей более детальной расчетной и экспериментальной проверки, в том числе с более полным использованием потенциальных возможностей, заложенных в систему *GPS*.

**Выводы.** Экспериментально установлена изменчивость интенсивности диффузной компоненты сигналов спутников *GPS*, рассеянных морской поверхностью. Эта изменчивость обусловлена различной степенью волнения и подтверждается измерениями скорости ветра вблизи района измерений.

Для извлечения диффузной компоненты из реализации полного сигнала в частном случае не очень высоких антенн эффективно применение частотной фильтрации на основе МСС.

Диагностика степени морского волнения может быть основана на оценке СКО морских волн по данным спутниковых измерений, путем сопоставления их с результатами, полученными на стационарных приводных трассах.

Для уточнения численных параметров задачи желательно проведение экспериментов в контролируемых условиях: при измерении морского волнения, а также при совместном использовании радиосигналов различных искусственных спутников Земли (навигационных, геостационарных и др.).

Методика измерения характеристик сигналов *GPS* с берега моря чувствительна к влиянию морского волнения и тропосферной рефракции и может использоваться для дистанционной диагностики обоих эффектов.

Автор выражает благодарность В. Б. Разсказовскому и Ю. А. Педенко за плодотворные дискуссии, В. Б. Замаараеву и Г. М. Моргуну за помощь в измерениях и обработке данных.

1. *Observing the Earth's atmosphere with radio occultation measurements using the Global Positioning System* / E. R. Kursinski, G. A. Hajj, J. T. Schofield et al. // *J. Geophys. Res.* – 1997. – 102, N D19. – P. 23429–23465.
2. *Extraction of Sea State and Wind Speed from Reflected GPS Signals: Modeling and Aircraft Measurements* / V. U. Zavorotny, A. G. Voronovich, S. J. Katzberg et al. // *IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. (IGARSS 2000)*, Honolulu, 2000. – P. 57–59.
3. *Изменчивость характеристик сигналов GPS, распространяющихся в приводном слое атмосферы* / В. Б. Замаараев, В. А. Кабанов, Г. М. Моргун, В. Б. Сеницкий // *Радиофизика и электрон.*: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – X., 2004. – 9, № 3. – С. 541–548.
4. *Вариации тропосферной рефракции над морем. Совместные измерения на стационарной и спутниковых трассах* / В. Б. Замаараев, В. А. Кабанов, Г. М. Моргун, В. Б. Сеницкий // *Радиофизика и электрон.*: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – X., 2005. – 10, № 3. – С. 386–393.
5. *Beard C. I. Phenomenological Vector Model of Microwave Reflection from the Ocean* / C. I. Beard, I. Katz, L. M. Spetner // *IRE Trans.* – 1956. – AP-4, N 4. – P. 162–167.
6. *Beard C. I. Coherent and Incoherent Scattering of Microwaves from the Ocean* / C. I. Beard // *IRE Trans.* – 1961. – AP-9, N 5. – P. 470–483.
7. *Кулемин Г. П. Рассеяние миллиметровых радиоволн поверхностью земли под малыми углами* / Г. П. Кулемин, В. Б. Разсказовский. – К.: Наук. думка, 1987. – 230 с.
8. *Статистические характеристики поля сантиметровых и миллиметровых волн над поверхностью моря* / М. Г. Балан, С. Б. Беспечный, Н. В. Горбач и др. // *Изв. вузов. Радиофизика.* – 1982. – 25, № 4. – С. 1260–1268.
9. *Разсказовский В. Б. Модель поля миллиметровых и сантиметровых волн над морем для исследования методов измерения углов места низколетящих целей* / В. Б. Разсказовский, Ю. А. Педенко // *Радиофизика и электрон.*: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – X., 2003. – 8, № 1. – С. 22–33.
10. *Бартон Д. Радиолокационное сопровождение целей при малых углах места* / Д. Бартон // *Тр. Ин-та инж. по электротехнике и радиоэлектрон.* – 1974. – № 6. – С. 37–61.
11. *Экспериментальные исследования флуктуаций сигналов СВЧ при распространении над морем при малых углах скольжения* / И. Д. Гонтарь, Н. А. Дорфман, И. С. Турганев, В. Ф. Шульга // *Изв. вузов. Радиофизика.* – 1973. – 16, № 4. – С. 502–504.
12. *Бартон Д. Справочник по радиолокационным измерениям* / Д. Бартон, Г. Вард; пер. с англ. под ред. М. М. Вейсбейна. – М.: Сов. радио, 1976. – 392 с.

V. B. Sinitsky

ON THE POSSIBILITY OF USING *GPS*  
SATELLITE RADIATION AT SMALL ANGLES  
FOR SEA ROUGHNESS DIAGNOSTICS

The results of field measurements of signals of *GPS* satellites setting over the sea surface are presented. The temporal variability of the diffuse component of the sea-scattered signal and the association of this component with the wind speed in the measurement zone are shown.

**Key words:** *GPS* satellites, moving average method, diffuse component of signal, sea roughness diagnostics.

В. Б. Синицький

ПРО МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ  
ВИПРОМІНЮВАННЯ СУПУТНИКІВ *GPS*  
ПІД МАЛИМИ КУТАМИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ  
МОРСЬКОГО ХВИЛЮВАННЯ

Подано результати натурних вимірювань сигналів супутників *GPS* при їх заході над поверхнею моря. Показано часову мінливість дифузної компоненти розсіяного морем сигналу, а також її зв'язок зі швидкістю вітру в районі вимірювань.

**Ключові слова:** супутники *GPS*, метод ковзного середнього, дифузна компонента сигналу, діагностика морського хвилювання.

*Рукопись поступила 12.03.10 г.*