

В. И. Луценко, Д. О. Попов, И. В. Луценко

Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины

12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина

E-mail: lutsenko@ire.kharkov.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ ИЗЛУЧЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ

Исследование особенностей рассеяния сигналов на поверхности суши может использоваться для изучения физики процессов рассеяния, а также при создании методов компенсации многолучевости для снижения ошибок позиционирования глобальных навигационных спутниковых систем. Показана возможность обнаружения областей отражения на подстилающей поверхности и оценки их параметров при помощи излучений глобальных навигационных спутниковых систем. Проанализировано поведение уровней сигналов для различных спутников в условиях городской застройки. Рассмотрено влияние характеристик областей отражения на спектры принимаемых излучений; предложена методика определения их местоположения. Ил. 7. Табл. 1. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: глобальная навигационная спутниковая система, подстилающая поверхность, интерференция, область отражения.

Сегодня все большую популярность приобретают исследования, связанные с диагностикой земной поверхности и атмосферы при помощи глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Так как на данный момент сети *GPS (Global Positioning System)* и ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система) имеют довольно широкое покрытие, обеспечивая высокую стабильность работы и точность измерения, то актуальными становятся задачи, связанные с расширением функциональных возможностей данных систем не прибегая к глобальным изменениям внутри них. Если для исследования динамических процессов в атмосфере Земли, особенно в ионосфере, ГНСС используются достаточно широко, то вопросы диагностики подстилающих поверхностей, особенно суши, остаются неизученными. Ранее в [1] была показана возможность применения систем *GPS* для оценки степени шероховатости морской поверхности путем анализа отраженного от нее сигнала спутника ГНСС при его движении по траектории. В данной работе рассмотрена возможность использования ГНСС для анализа типов подстилающих поверхностей на суше и обнаружения областей отражения в условиях городской застройки. Физической предпосылкой, позволяющей диагностировать подстилающую поверхность, является интерференция, которая происходит при передаче сигнала от спутника к приемнику, антенной которого регистрируются как прямой, так и отраженный от поверхности сигналы. Анализируя интерференционные эффекты, возникающие на приемной стороне, можно попытаться оценить характеристики областей отражения, а по уровню флуктуаций принимаемого сигнала сделать предположения о типе подстилающей поверхности.

1. Математическое обоснование. Сигнал в точке приема при наличии многолучевости в канале распространения может быть записан в виде суммы гармонических компонент. Множитель

ослабления сигнала V в точке приема при малых углах визирования источника $\theta \approx \sin \theta$ представим в виде:

$$V(\theta) = \left| 1 + \sum_{j=1}^m \rho_j \exp(i2\pi\chi_j \sin \theta) \right|, \quad (1)$$

где ρ_j – комплексный коэффициент отражения, характеризующий величину сигнала от дополнительного источника по отношению к прямому сигналу; $\chi_j = 2h_j / \lambda$ – частота, определяемая набегом фазы $\varphi_j = 2\pi\chi_j \sin \theta$ от j отражающей области, располагающейся на высоте h_j относительно приемника. Из соотношения (1) видно, что из-за изменения угла визирования источника θ , которое наблюдается при вертикальных разрезах поля над поверхностью раздела вследствие перемещения искусственного спутника Земли (ИСЗ) системы глобальной навигации, а также высоты расположения инверсионных отражающих слоев тропосферы в спектре флуктуаций множителя ослабления появляются компоненты, частота которых связана с угловым положением источника. Это означает, что используя спектральный анализ можно по частоте компоненты определить угловое положение источника, а по ее интенсивности – коэффициент отражения. В качестве отражающих областей могут выступать приподнятые инверсионные слои тропосферы или блестящие точки на земной поверхности. Из соотношения (1) видно, что наличие дополнительных отражений, кроме зеркального, приводит к обогащению спектра частотами $\chi_j = h_j / \lambda$ и их комбинациями $\chi_j - \chi_l$. Следует отметить, что если высота приемника относительно отражающей области на поверхности h_j (или инверсионного слоя тропосферы) превышает высоту приемника относительно среднего уровня земной поверх-

ности h_0 , то частоты $\chi_j \geq \chi_0$ выше, чем соответствующие области зеркального отражения. В противном случае они имеют более низкие частоты $\chi_j \leq \chi_0$. Спектральное разложение амплитуды принимаемого сигнала может использоваться для оценки количества областей отражения и их характеристик: угловых координат и коэффициентов отражения с использованием подходов, разработанных в [2, 3]. Рассмотрим ситуацию, когда сигнал ИСЗ отражается от блестящих точек на земной поверхности (рис. 1). При этом углы прихода прямого и отраженного луча будут одинаковы по абсолютной величине.

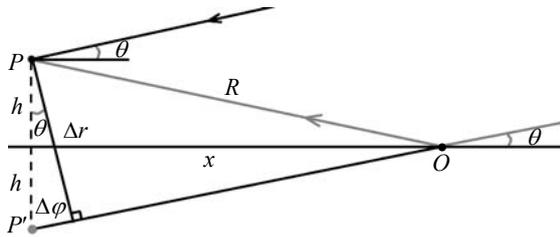


Рис. 1. Прием луча, отраженного от блестящей точки на земной поверхности: P – точка приема; O – отражающая точка; θ – угол визирования ИСЗ; h – высота расположения приемной антенны; x – расстояние до отражающей точки

У отраженного сигнала будет дополнительный относительно прямого луча набег фаз

$$\Delta\varphi = K\Delta r = 2h \sin \theta K = \frac{2h 2\pi}{\lambda} \sin \theta.$$

Частота F , представленная как производная по $\Delta\varphi$, примет вид

$$\omega = \frac{\partial\Delta\varphi}{\partial t} = \frac{\partial\theta}{\partial t} 2h \frac{2\pi}{\lambda} \cos \theta.$$

Поскольку $\frac{\partial\Delta\varphi}{\partial t} = 2\pi F$, получим

$$F = \frac{\partial\theta}{\partial t} \frac{2h}{\lambda} \cos \theta, \quad (2)$$

где $\frac{\partial\theta}{\partial t} = \frac{V}{R_0}$ – угловая частота движения спутника, здесь R_0 – высота орбиты спутника ($\approx 26\,600$ км), V – скорость его движения ($\approx 3,9$ км/с); F – частота осцилляций сигнала, причем $F = 1/\Delta t = 1/T$, Δt – время, за которое фаза изменится на 2π . Отсюда получаем

$$T = \frac{1}{F} = \frac{R_0}{V} \frac{1}{\cos \theta} \frac{\lambda}{2h},$$

т. е. при малых углах возвышения спутника, составляющего для высоты расположения антенны в г. Харьков около 30 м, период флуктуаций сигнала составляет около 24 с, возрастая до 48 с при углах около 60° . Это означает, что частота флуктуаций составляет около 0,04 Гц на нулевых углах, уменьшаясь до 0,02 Гц для углов спутника около 60° . Снижение высоты расположения при-

емника относительно отражающей области приводит к увеличению периода, а значит, к снижению частоты флуктуаций.

При столь небольшом количестве выборок для оценки периода перспективным является использование современных методов вейвлет-анализа [4–7]. Кроме того, необходимо учитывать, что при возрастании высоты расположения приемника частота флуктуаций будет возрастать. Когда она превысит половину частоты обновления информации приемником (для нашего случая $F_0 = 1/2T_0 = 0,5$ Гц), то начнет проявляться строб-эффект, и это необходимо учитывать при оценке высот:

$$h = \frac{R_0}{V} \frac{1}{\cos \theta} \frac{\lambda}{2T_0} = \frac{R_0}{V} \frac{1}{\cos \theta} \frac{\lambda F_0}{2}.$$

Таким образом, при высотах размещения приемника более 350 м частота обновления информации приемником (1 Гц) становится недостаточной для правильной оценки частоты его флуктуаций.

При столь малом количестве точек дискретизации можно использовать для оценки периода (а значит, и относительной высоты) метод счета нуль-пересечений. Суть метода состоит в нахождении отсчетов флуктуационной компоненты сигнала, между которыми она меняет знак, и уточнении временного интервала между переходами через нуль с использованием интерполяции. Другими словами, определяется временной интервал, на котором происходит изменение разности фаз прямого и отраженного сигналов на 2π .

Пусть для определенности фиксируются переходы через нуль от отрицательного значения сигнала к положительному (хотя это и не принципиально; с таким же успехом можно считать интервал между переходами от положительного значения к отрицательному). Примем, что $\{S_i, S_{i+1}\}$ – значения сигнала в i и $(i+1)$ моменты времени, причем $S_i \leq 0$, $S_{i+1} \geq 0$, а $\{S_{i+k}, S_{i+k+1}\}$ – значения сигнала в $(i+1)$ и $(i+k+1)$ моменты времени, причем $S_{i+k} \leq 0$, $S_{i+k+1} \geq 0$.

Тогда период флуктуаций T может быть определен как

$$T = \left(k - 1 + \left(\frac{S_{i+1}}{S_{i+1} + S_i} + \frac{S_{i+k+1}}{S_{i+k+1} + S_{i+k}} \right) \right) T_0. \quad (3)$$

Приближенную оценку может дать использование целого количества отсчетов, т. е.

$$T \approx kT_0. \quad (4)$$

Соотношения (3) и (4) можно использовать для оценки по частоте флуктуаций принятого сигнала относительно высоты точки отражения:

$$h = \frac{R_0}{V} \frac{1}{\cos \theta} \frac{\lambda}{2T}.$$

При движении спутника по орбите происходит перемещение по дистанции области от-

ражения. Положение центра области отражения на подстилающей поверхности определяется через ее относительную высоту $h(x)$ по отношению к приемнику $\frac{h(x)}{x} = \operatorname{tg} \theta$. Расстояние до нее определяется как

$$x = h(x) \operatorname{ctg} \theta,$$

где $h(x)$ – высота расположения антенны по отношению к высоте точки отражения; x – расстояние до центра области отражения. Поскольку высота размещения антенны относительно земной поверхности для г. Харьков и г. Сумы составляла примерно 30 м, то при углах возвышения спутника $10...20^\circ$ расстояние до области отражения $x = 170...82$ м, а при $1...2^\circ$ соответственно 1720...860 м. Для г. Полтава расположение антенны относительно земной поверхности составляло около 8 м. Соответственно при возвышении спутника $10...20^\circ$ дальность до области отражения будет составлять примерно 45...22 м, а при $1...2^\circ$ – 458...230 м. При этом угол визирования области отражения на поверхности будет примерно совпадать с углом визирования спутника.

В формирование поля в точке приема основной вклад вносят точки, располагающиеся внутри зоны, существенной для распространения, с радиусом r [8]

$$r = \sqrt{\lambda R}.$$

Для расположенных близко к приемнику отражающих поверхностей эти размеры составляют единицы (4...6 м), а для удаленных – десятки (10...40 м) метров. Следует отметить, что такие размеры имеет зона, существенная для распространения, при сечении эллипсоида перпендикулярно направлению распространения сигнала. Пересечение эллипсоида с подстилающей поверхностью даст размер большой оси эллипсоида зоны, существенной для распространения \hat{r} на поверхности Земли:

$$\hat{r} = r \sin^{-1} \theta = \sqrt{\lambda R} \sin^{-1} \theta.$$

Он составит 24...36 м при угле $20...10^\circ$ и 600...2 400 м при углах $2...1^\circ$. Это означает, что если отражающие элементы имеют размеры, превышающие размеры этой зоны, то отражение от них происходит с малыми потерями.

Если отражающая площадка имеет размеры, меньшие размеров зоны Френеля на поверхности, то уровень отраженного от нее сигнала будет пропорционален отношению их площадей [8], и коэффициент отражения можно определить как

$$\rho_i = \frac{S_i}{\pi \lambda R} \sin^{1/2} \theta = \frac{S_i}{\pi \lambda h} \sin^{3/2} \theta,$$

где S_i – площадь i -й отражающей площадки; ρ_i – коэффициент отражения от нее. Если $S_{i \max}$ [дБ] и

$S_{i \min}$ [дБ] – уровень сигнала в децибеллах в максимуме и минимуме лепестка поля, то коэффициент отражения

$$\rho_i \approx 0,1(S_{i \max} [\text{дБ}] - S_{i \min} [\text{дБ}]) / 2$$

определяется глубиной интерференционных замираний.

Из соотношения (2) можно определить ширину интерференционного лепестка $\Delta \theta$

$$\Delta \theta = \frac{\lambda}{2h} \frac{1}{\cos \theta}, \quad (5)$$

которая определяется углом визирования спутника, а также относительной высотой точки отражения. Ширина интерференционного лепестка для наших высот расположения антенн составляет: около $0,2^\circ$ – для г. Харьков и г. Сумы; $0,7^\circ$ – для г. Полтава.

Соотношение (5) позволяет по измерениям ширины интерференционного лепестка оценить относительную высоту области отражения:

$$h_i = \frac{1}{\Delta \theta_i} \frac{\lambda}{2} \frac{1}{\cos \theta}.$$

Таким образом, измеряя ширину каждого интерференционного лепестка, можно оценивать относительную высоту области отражения, по глубине провалов – коэффициент отражения, а значит, и размеры отражающей площадки.

При рассмотрении процессов отражения от поверхности мы предполагали, что отражающая площадка ориентирована горизонтально. При этом угол визирования спутника совпадает по модулю с углом визирования отражающей площадки. Однако из-за рельефа поверхности или наклонов крыш зданий зеркально отражающая площадка может наблюдаться под углами, отличными от угла наблюдения спутника, что будет приводить к деформации ширины интерференционного лепестка и, следовательно, к ошибкам при определении местоположения области отражения.

2. Результаты экспериментов. Для нахождения областей отражения и анализа типа подстилающей поверхности использовались «сырые» данные базы записей навигационных сигналов ГНСС. В экспериментах использовались односторонние приемники СН-4719 разработки ООО «Навис-Украина», размещенные в трех городах Украины (г. Сумы, г. Харьков, г. Полтава). Панорама местности этих городов представлена на рис. 2. Сигнал спутника ГНСС записывался с момента захвата приемником и до момента потери.

При анализе полученных соотношений сигнал/шум для различных спутников учитывалось, что в ГНСС спутники разбиты на отдельные группы, с одинаковыми траекториями орбит. К примеру, для системы GPS спутники обращаются по круговым орбитам с одинаковой высотой и периодом обращения для всех спутников. Накло-

нение орбиты (55°) является общим для всех спутников системы. Единственным отличием спутниковых орбит является долгота восходящего узла, или точка, в которой плоскость орбиты спутника пересекает экватор (данные точки отстоят друг от друга приблизительно на 60°). Следовательно, несмотря на одинаковые параметры орбит, спутники обращаются вокруг Земли в шести различных плоскостях, по четыре аппарата в каждой.

Таким образом, получив один и тот же эффект на различных спутниках, можно сделать вывод о наличии стабильной области отражения, а по частоте флуктуаций, азимуту и углу места можно оценить его местоположение. На рис. 3 приведены примеры амплитуд сигналов для различных групп спутников. Для разделения стабильной и флуктуационной компонент использовался известный алгоритм «гусеница» [9, 10].

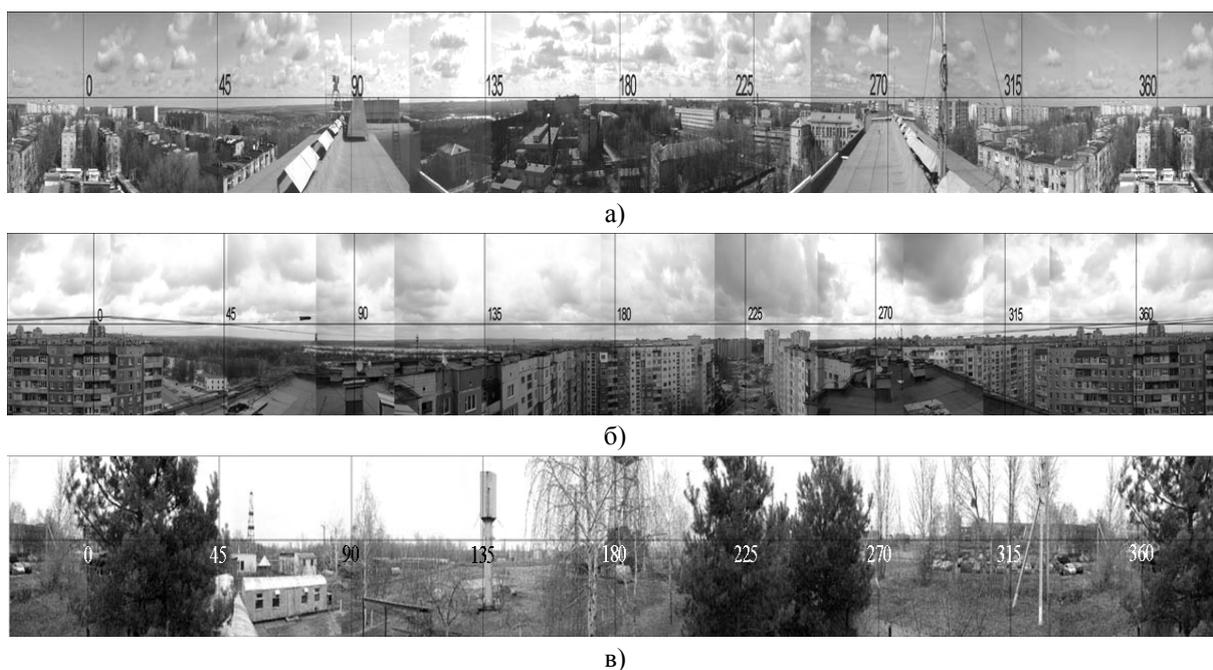


Рис. 2. Панорама местности из точки расположения приемника: а) г. Харьков; б) г. Сумы; в) г. Полтава

Для анализа временного ряда выбирается целый параметр L ; назовем его «длина окна». Параметр L может выбираться произвольно. При достаточно большой длине ряда и большом L результаты не будут зависеть от длины окна. Затем на основе ряда строится траекторная матрица, столбцами которой являются скользящие отрезки ряда длины L : с первой точки по L -ю, со второй по $(L+1)$ -ю и т. д. Следующий шаг – это сингулярное разложение траекторной матрицы в сумму элементарных матриц. Каждая элементарная матрица задается набором из собственного числа и двух сингулярных векторов – собственного и факторного.

Предполагается, что исходный временной ряд является суммой нескольких рядов. Переходя от результирующих матриц к ряду, получаем разложение ряда на аддитивные слагаемые, например, на сумму тренда, периодики и шума или на сумму низкочастотной и высокочастотной составляющих.

С использованием рассмотренного подхода получены трендовые и флуктуационные

компоненты амплитуд сигналов спутников (рис. 3, 4).

В отличие от атмосферы, влияющей на изменение условий распространения сигналов ГНСС, как в течение суток, так и в зависимости от времени года, подстилающая поверхность менее подвержена суточным и сезонным изменениям и оказывает на характер поведения сигналов (для спутников, находящихся на одних и тех же орбитах) примерно одинаковое влияние. Так, для примера приведены три варианта азимутальных направлений: $\sim 183^\circ$ (спутники *GPS* 01 и *GPS* 11), $\sim 190^\circ$ (спутники *GPS* 03 и *GPS* 10), $\sim 55^\circ$ (спутники *GPS* 02 и *GPS* 17).

Для анализа выбирались заходы спутников в летний и зимний периоды, начиная с 20° возвышения спутника и заканчивая потерей сигналов при заходе спутника за горизонт. Для летнего и зимнего сезонов при заходах выделялись характерные участки, где флуктуации амплитуды значительно увеличивались и изменялась частота.

Наличие характерных участков при различных рефракционных условиях (динамика и

амплитуда изменения коэффициента преломления в летний период существенно больше, чем в зимний) носит стабильный характер для всех спутников, что свидетельствует об устойчивости эффекта. Из приведенных рисунков видно, что изменения флуктуационной компоненты довольно четко повторяются для различных спутников, что может свидетельствовать о наличии областей отражения, приводящих к подобным изменениям сигнала. Видно, что для спутников с азимутальным углом 55° появляются существенные флуктуации при низких углах спутника, что соответствует отражению от крыш домов в ближней зоне, когда

лесная посадка в дальней зоне никак не влияет на флуктуационную компоненту. В случае со спутниками, расположенными под азимутальным углом в 183° , видны несколько выбросов, имеющих одинаковую частоту, что вызвано отражением от зоны застройки домами, расположенной в этом направлении.

Для измерительного пункта с относительно низким расположением антенны (г. Полтава) наблюдалось возрастание амплитуды флуктуационной компоненты, которое сопровождалось падением уровня сигнала трендовой составляющей из-за затенения деревьями в ближней зоне (рис. 5).

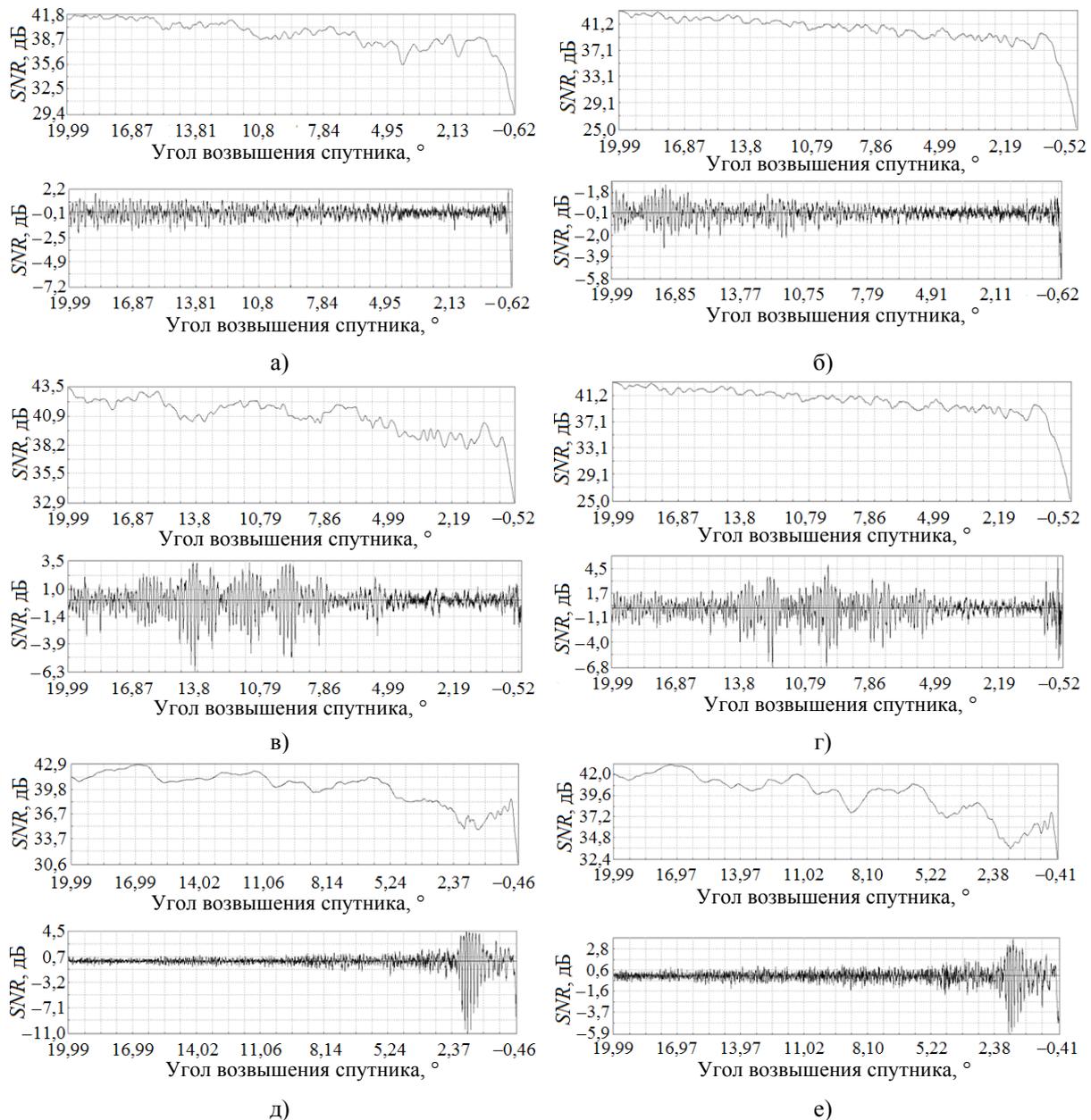


Рис. 3. Трендовые (верхние кривые) и флуктуационные (нижние кривые) составляющие амплитуд сигналов для спутников (г. Сумы): а) GPS 01 (26.02.2012); б) GPS 11 (26.02.2012); в) GPS 03 (24.02.2012); г) GPS 10 (24.02.2012); д) GPS 02 (24.02.2012); е) GPS 17 (24.02.2012)

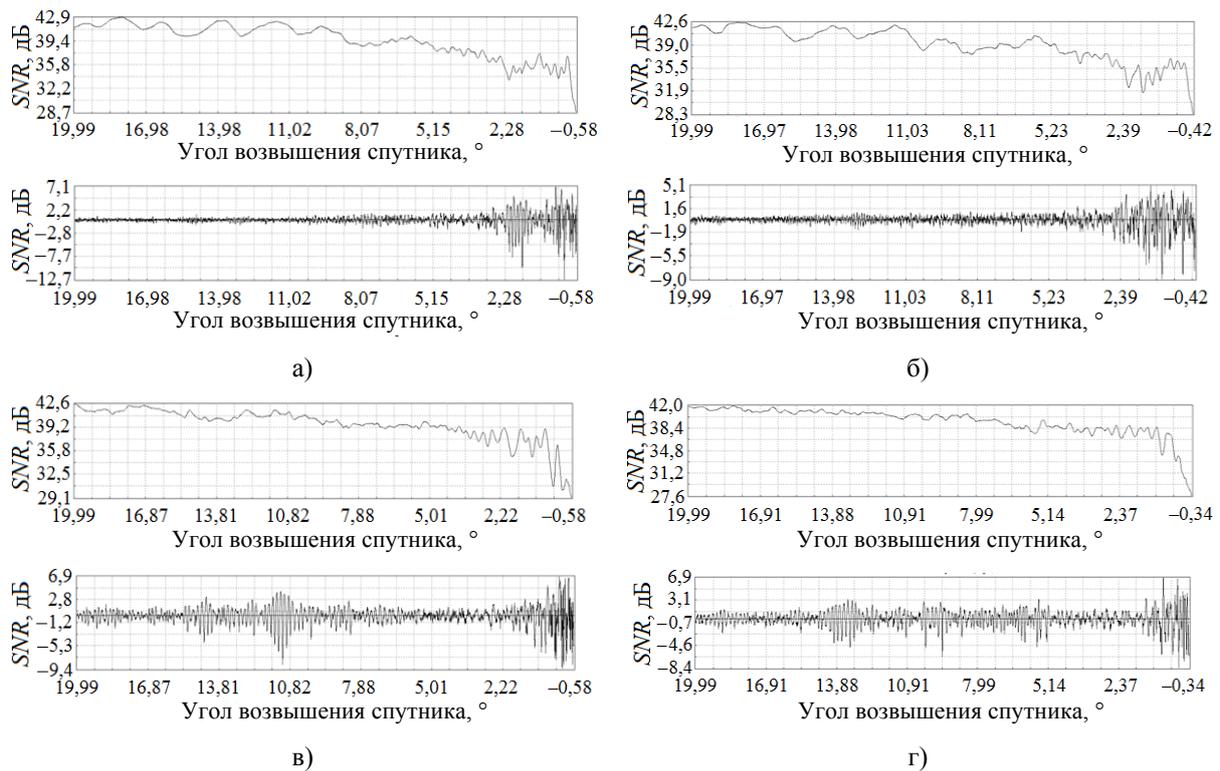


Рис. 4. Трендовые (верхние кривые) и флуктуационные (нижние кривые) составляющие амплитуд сигналов для спутников (г. Сумы): а) GPS 02 (21.06.2012); б) GPS 17 (23.06.2012); в) GPS 03 (22.06.2012); г) GPS 10 (22.06.2012)

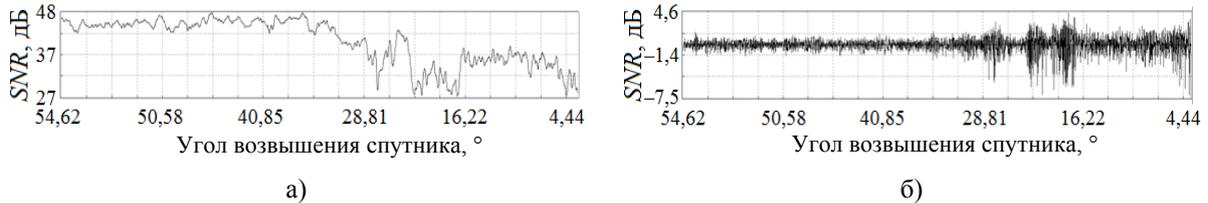


Рис. 5. Поведение сигнала спутника GPS 15 для г. Полтава при затенении трассы деревьями (азимут – 210°): а) трендовая компонента; б) флуктуационная компонента

Для нахождения параметров отражающих областей земной поверхности был проведен спектральный анализ амплитуд сигналов спутников и рассчитаны параметры предполагаемых областей отражения (таблица) для г. Харьков, г. Сумы и г. Полтава (рис. 6).

В качестве примера приведено несколько участков панорам, на которых выделены азимутальные углы, соответствующие анализируемым участкам. Кроме того, приведены спектры, соответствующие полному исследуемому сигналу, а также спектры участков сигнала, характерных для зон отражения. Таким образом, путем анализа спектральных компонент, установив взаимосвязь между спектральными компонентами и соответствующими им высотами отражающих областей, можно сделать предположение о рельефе местности.

Из полученных результатов видно, что предложенные выше теоретические расчеты довольно хорошо совпадают со значениями рассматриваемых областей отражения. Отметим, что для г. Полтава, где антенна располагалась довольно низко по отношению к окружающей застройке, имели место случаи, когда невозможно было выделить определенные участки из-за зашумленности принимаемых сигналов, вызванных окружающей растительностью.

Так как на поведение принимаемого сигнала влияет шероховатость подстилающей поверхности, то целесообразно проанализировать дисперсию флуктуационной компоненты для проведения оценки типа подстилающей поверхности в азимутальном направлении, с которого принимается сигнал.

Результаты определения характеристик областей отражения

Спутник	Азимут, °	Угол места, °	Угловая ширина, ° (частота флуктуации, Гц)	Коэф. отражения	Площадь отраж. участка, м	Высота отраж. участка, м	Расстояние до отраж. участка, м
GPS 14 г. Харьков	56	8,3...10	0,03(0,215)	0,3	103...78	196	205...170
GPS 12 г. Харьков	148	7,3...9,9	0,166(0,04)	0,194	80,7...51,3	34,9	235...171
GPS 26 г. Харьков	183	4,8...7,6	0,1405(0,0475)	0,22	171...86	41,2	358...225
GPS 01 г. Харьков	183	6,7...9,9	0,138(0,048)	0,205	96,9...54,2	42	255...172
GPS 01 г. Полтава	181	10,6...11,5	0,28(0,023)	0,45	107,5...95,2	20,9	42,5...39,3
GPS 26 г. Полтава	182	9,4...10,5	0,22(0,027)	0,415	118...100,5	23,4	48,2...43
GPS 02 г. Сумы	56	0,85...2,13	0,142(0,047)	0,8	2 780...701	41,3	2 022...808
GPS 10 г. Сумы	193,5	6,89...7,9	0,168(0,04)	0,4	60,5...49,3	34,7	248...216
	192,5	9,3...10,1	0,166(0,04)	0,59	57...50,5	34,8	183...168
	191,5	12,1...13,9	0,16(0,042)	0,515	33,7...27,5	36,6	140...121

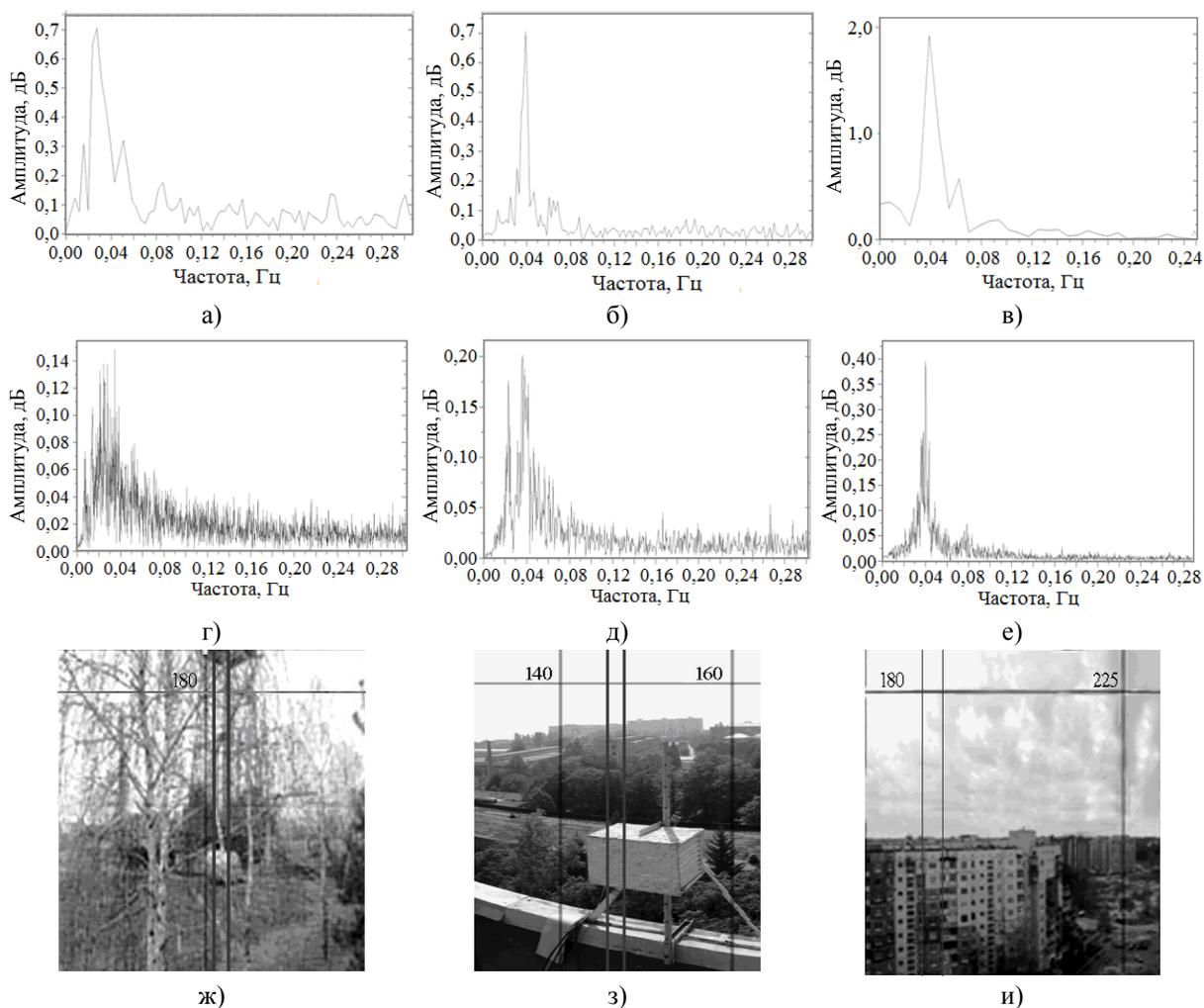


Рис. 6. Анализ областей отражения для г. Полтава GPS 26 (а, г, ж), г. Харьков GPS 09 (б, д, з), г. Сумы GPS 03 (в, е, и): спектр участка соответствующего предполагаемой точке отражения (а-в); спектр полного пролета спутника (г-е); панорама местности (ж-и)

При исследовании типа подстилающей поверхности анализировались пролеты спутников под различными азимутальными углами и углами возвышения спутников. Видно, что для г. Сумы доминирующим типом местности является застройка, в то время как в г. Полтава преобладает открытая местность, без высотных застроек.

Для г. Харьков проанализированы уровни флуктуаций как для местности с высотной застройкой, так и равнинной местности.

На рис. 7 для примера приведены результаты оценок (г. Харьков) в летний период (330 N ед.). Пролеты спутников разбиты на несколько участков по 5° , связанных с перемещением спутника и изменением характера поведения сигнала.

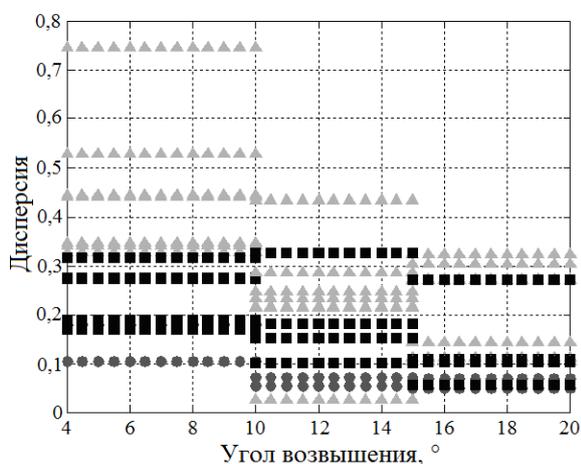


Рис. 7. Уровни дисперсии для различных типов местности в зависимости от угла возвышения (лето – 330 N ед.): ● – поля; ■ – дома на уровне расположения антенны; ▲ – дома ниже уровня расположения антенны

Из полученных результатов можно сделать вывод, что местности с равнинным характером имеют дисперсию флуктуационной компоненты примерно в три раза меньше, чем для зон застройки. Однако в ряде случаев отмечается нехарактерное поведение уровней флуктуаций, которое может быть вызвано появлением области отражения на определенных углах.

Выводы. В работе показана возможность анализа типа подстилающей поверхности и нахождения областей отражения при помощи ГНСС. Установлено, что флуктуации, связанные с точками отражения на подстилающей поверхности, проявляются одинаково для спутников, проходящих по одинаковой траектории в течение суток и в разное время года, когда уровень коэффициента преломления значительно отличается. Это свидетельствует о стабильности получаемых при предлагаемом подходе результатов. Показано, что

флуктуации при отсутствии застроек носят довольно стабильный характер с низким уровнем дисперсии, в то время, как при наличии застройки их амплитуда возрастает примерно в три раза.

Частота флуктуаций сигнала позволяет определить высоту отражающей области относительно приемника, а угол возвышения спутника, при котором она отражает – дальность до нее. Эти данные могут использоваться для оценки углового положения области отражения и ее характеристик. Известные угловые положения областей отражения позволяют сформировать нули диаграмм направленности приемников ГНСС сигналов в направлении на источник отражения, что позволит ослабить принимаемый отраженный сигнал и за счет этого снизить погрешности оценивания координат, связанные с многолучевостью.

Библиографический список

1. Синицкий В. Б. О возможности использования излучения спутников GPS для диагностики морского волнения / В. Б. Синицкий // Радиофизика и электрон. – 2010. – 1(15), № 3. – С. 58–64.
2. Луценко И. В. Спектральные методы оценивания характеристик вторичных источников в каналах с многолучевостью / И. В. Луценко, И. В. Попов, В. И. Луценко // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – Х., 2006. – 11, № 1. – С. 144–146.
3. Попов И. В. Использование методов обнаружения-измерения для анализа характеристик каналов с многолучевостью / И. В. Попов, И. В. Луценко, В. И. Луценко // Радиофизика и электрон.: сб. науч. тр. / Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – Х., 2006. – 11, № 2. – С. 305–308.
4. Применение семейств атомарных, WA-систем и R-функций в современных проблемах радиофизики. Часть I / В. Ф. Кравченко, О. В. Кравченко, В. И. Пустановойт и др. // Радиотехника и электрон. – 2014. – 59, № 10. – С. 949–978.
5. Применение семейств атомарных, WA-систем и R-функций в современных проблемах радиофизики. Часть II / В. Ф. Кравченко, О. В. Кравченко, В. И. Пустановойт и др. // Радиотехника и электрон. – 2014. – 60, № 2. – С. 109–148.
6. Применение семейств атомарных, WA-систем и R-функций в современных проблемах радиофизики. Часть III / В. Ф. Кравченко, О. В. Кравченко, Я. Ю. Коновалов и др. // Радиотехника и электрон. – 2015. – 60, № 7. – С. 663–694.
7. Применение семейств атомарных, WA-систем и R-функций в современных проблемах радиофизики. Часть IV / В. Ф. Кравченко, О. В. Кравченко, В. И. Пустановойт и др. // Радиотехника и электрон. – 2015. – 60, № 11. – С. 1113–1152.
8. Черный Ф. Б. Распространение радиоволн / Ф. Б. Черный. – 2-е изд., доп. и переработ. – М.: Сов. радио, 1972. – 464 с.
9. Данилов Д. Л. Главные компоненты временных рядов: метод «гусеница» / Д. Л. Данилов, А. А. Жиглявский. – СПб.: изд-во СПб. ун-та, 1997. – 308 с.
10. Безрукавный Д. С. О возможности применения алгоритма «гусеница» к задаче контроля сетевого трафика // XIII Всерос. науч.-метод. конф. «ТЕЛЕМАТИКА 2006», Секция: b. Телекоммуникации в образовании и науке: Опыт и перспективы развития [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.ict.edu.ru/vconf/files/9282.pdf>. – Загл. с экрана.

11. Разказовский В. Б. Многолучевое распространение над морем / В. Б. Разказовский, Ю. А. Педенко // Зарубежная радиоэлектрон. Успехи современной радиоэлектрон. – 1996. – № 7. – С. 29–39.

Рукопись поступила 18.12.2015.

V. I. Lutsenko, D. O. Popov, I. V. Lutsenko

RESEARCH ON THE UNDERLYING SURFACE BY RADIATION OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM

The investigation of the scattering signals features on the land surface can be used to study the physics of scattering processes, as well as for the establishment of multipath compensation methods for reducing positioning errors in global navigation satellite systems. The possibility of detecting the reflection areas on the underlying surface and estimating their parameters by using radiation of global navigation satellite systems is shown. The behavior of the signal levels for different satellites in urban areas is analyzed. The influence of the reflection area's characteristics on the spectrum of the received radiations is considered; the method of determining their location is proposed.

Key words: global navigation satellite system, underlying surface, interference, reflection area.

В. І. Луценко, Д. О. Попов, І. В. Луценко

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСТИЛАЮЧОЇ ПОВЕРХНІ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИПРОМІНЮВАННЯ ГЛОБАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СУПУТНИКОВОЇ СИСТЕМИ

Дослідження особливостей розсіювання сигналів на поверхні суші може використовуватися для вивчення фізики процесів розсіювання, а також при створенні методів компенсації багатопроменевості для зменшення помилок позиціонування глобальних навігаційних супутникових систем. Показано можливість виявлення областей віддзеркалення на підстилаючій поверхні та оцінки їх параметрів за допомогою випромінювань глобальних навігаційних супутникових систем. Проаналізовано поведінку рівнів сигналів для різних супутників за умов міської забудови. Розглянуто вплив характеристик областей віддзеркалення на спектри прийнятих випромінювань; запропоновано методику визначення їхнього місця розташування.

Ключові слова: глобальна навігаційна супутникова система, підстилаюча поверхня, інтерференція, область віддзеркалення.