

DOI: 10.18454/2079-6641-2017-20-4-9-27

ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ

УДК 523.74

**СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ
МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ, ОТРАЖЁННОЙ
ОТ РАССЕИВАЮЩЕГО ДИФРАКЦИОННОГО
ЭКРАНА ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ
РАДИОСИГНАЛА В КАНАЛЕ
ЗЕМЛЯ–ИОНОСФЕРА В КОРОТКОВОЛНОВОМ
ДИАПАЗОНЕ РАДИОВОЛН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ
КОГЕРЕНТНОГО ПРИЁМА НАЗЕМНОГО
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

С. Ю. Белов

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

E-mail: belov_sergej@mail.ru

Мониторинг поверхности земли методом дистанционного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн может позволить оперативно выявлять некоторые геофизические параметры экосистем. Данный диапазон позволяет диагностировать и подповерхностный слой земли, поскольку параметр рассеяния формируется и неоднородностями диэлектрической проницаемости подповерхностных структур. Данным методом при организации мониторингового зондирования, возможно выявлять области изменения этих сред, например, для оценки сейсмической опасности, опасных природных явлений, изменения экосистем, а также некоторых экстремальных событий техногенного характера. В работе представлен новый некогерентный метод оценки параметра сигнал/шум. Выполнен сравнительный анализ и показано, что по аналитической (относительной) точности определения этого параметра новый метод на порядок превосходит широко используемый стандартный. Анализ аналитических погрешностей оценки этого параметра позволил рекомендовать новый метод вместо стандартного.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, КВ-диапазон, параметр рассеяния сигнал/шум, ионосфера

© Белов С. Ю., 2017

Введение

Мониторинг поверхности земли методом дистанционного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн может позволить оперативно выявлять некоторые геофизические параметры природных систем. Данный диапазон позволяет диагностировать и подповерхностный слой земли, поскольку параметр рассеяния формируется и неоднородностями диэлектрической проницаемости подповерхностных структур.

Данным методом при организации мониторингового зондирования, возможно выявлять области изменения этих сред, например, для оценки сейсмической опасности и сейсмического риска, опасных природных явлений, таких как землетрясения (предвестников землетрясений), а также некоторых экстремальных событий техногенного характера, что является актуальным в теоретических и прикладных задачах инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства. Также эти методики могут использоваться для развития системы мониторинга, контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также для оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций.

В работе предложен новый некогерентный метод оценки параметра сигнал/шум. Выполнен сравнительный анализ и показано, что по аналитической (относительной) точности определения этого параметра новый метод на порядок превосходит широко используемый стандартный [1] и одного порядка с известной когерентной методикой. Анализ аналитических погрешностей оценки этого параметра позволил рекомендовать новый метод вместо стандартного.

Параметр β_K возвращённого, частично рассеянного ионосферного сигнала представляет интерес как важная характеристика “возмущённости”, “мутности” статистически неоднородной ионосферной плазмы, показатель надёжности работы ионосферных каналов связи, а также диагностических каналов. Оперативная и надёжная оценка параметра β_K имеет общефизический интерес (радиофизика, геофизика, оптика и т. д.); конкретизация осуществлена для ионосферного случая. Данный диапазон позволяет диагностировать и подповерхностный слой земли на предмет предвестников землетрясений, поскольку параметр рассеяния формируется также и неоднородностями диэлектрической проницаемости подповерхностных структур.

Проблема измерения и учёта рассеивающей способности земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн важна для решения ряда задач, например, при диагностике свойств среды с помощью методов, использующих этот радиодиапазон, когда на трассе происходит промежуточное отражение (рассеяние) от земной поверхности, что представляет интерес для геологоразведочных и экологических исследований. Некоторые результаты работы по исследуемой тематике были представлены на конференциях: [4]–[35].

Важнейшими аспектами при использовании средств космического базирования для целей природопользования и экологического мониторинга являются выбор рабочего диапазона зондирования и вопросы влияния сред на проходящее излучение. Выбор КВ-диапазона позволяет учитывать подповерхностный слой (толщины порядка длины волны падающего излучения).

Методы расчёта (когерентный и некогерентный)

В фиксированной точке приёма на поверхности земли (в скалярном приближении) ионосферный сигнал, узкополосный случайный процесс $\mathcal{E}(t)$ представляет собой суперпозицию “зеркальной” $\mathcal{E}_0(t)$ и рассеянной $\mathcal{E}_P(t)$ по нормальному закону компонент:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}(t) &= \mathcal{E}_0(t) + \mathcal{E}_T(t) = E_{00} \cdot e^{i(\omega_0 t - \Phi(t))} + \mathcal{E}_T(t) = \\ &= R(t) \cdot e^{i(\omega_0 t - \Phi(t))} = [E_C(t) + i \cdot E_S(t)] \cdot e^{i\omega_0 t},\end{aligned}\quad (1)$$

где $\phi(t)$, $\Phi(t)$, $R(t)$, $E_m(t)$, $m=c,s$ – медленные на периоде $T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_0}$ случайные процессы; $E_{00} = Const$.

Параметр рассеяния определяется отношением:

$$\beta_k^2 = \frac{\text{Мощность зеркальной компоненты}}{\text{Мощность рассеянной компоненты}} = \frac{E_{00}^2}{2 \cdot \overline{\mathcal{E}_P^2}} \quad (2)$$

Здесь и ниже черта “—” означает статистическое усреднение. $E_C(t) = R(t) \cdot \cos \Phi(t)$ и $E_S(t) = R(t) \cdot \sin \Phi(t)$ – низкочастотные квадратуры ионосферного сигнала, $R(t)$ – огибающая, $\Phi(t)$ – суммарная фаза.

При этом индекс $K = E4, R2, R4$ означает экспериментально регистрируемые первичные случайные процессы и соответствующий метод их регистрации: $E4$ – когерентный; $R2, R4$ – некогерентные амплитудные.

Достаточно широко используется для оценки β_K (2) стандартный некогерентный $R2$ метод, основанный на соотношении [1]:

$$\frac{\overline{R^2}}{(\overline{R})^2} = f(\beta_{R2}) = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{(1 + \beta_{R2}^2) \cdot \exp(\beta_{R2}^2)}{[(1 + \beta_{R2}^2) \cdot I_0(\beta_{R2}^2/2) + \beta_{R2}^2 \cdot I_1(\beta_{R2}^2/2)]^2}. \quad (3)$$

$I_n(x)$ – функция Бесселя n -го порядка от чисто мнимого аргумента.

Используя когерентный $E4$ метод, β_{E4} оценивается по эксцессу γ_{E4} квадратур:

$$\gamma_{E4}(\beta_{E4}) = \frac{\overline{E_m^4}}{(\overline{E_m^2})^2} - 3 = -\frac{3}{2} \cdot \frac{\beta_{E4}^4}{(1 + \beta_{E4}^2)^2}, m = c, s, \quad (4)$$

Следует заметить, что измеряемыми первичными параметрами являются отношения моментов $\overline{R^2} / (\overline{R})^2$, $\overline{E_m^4} / (\overline{E_m^2})^2$ соответственно. Естественно, соотношения (3), (4) получены с учётом определённых моделей структуры ионосферного сигнала. Исследования показали, что вероятностные свойства ионосферного сигнала (1) отражений первой кратности достаточно хорошо описываются моделью Райса со смещённым спектром (РС-модель), на основе которой получены выражения (3), (4). Заметим, что выражение (4) когерентной методики $E4$ обеспечивает на порядок более высокую относительную аналитическую точность оценки параметра β_K .

В настоящей работе предлагается новый некогерентный $R4$ метод определения β_{R4} по эксцессу γ_{R4} огибающей для РС-модели:

$$\gamma_{R4}(\beta_{R4}) = \frac{\overline{R^4}}{(\overline{R^2})^2} - 3 = -1 - \frac{\beta_{R4}^4}{(1 + \beta_{R4}^2)^2}. \quad (5)$$

Для сопоставления приведённых методов в смысле относительных погрешностей, допускаемых при вычислении β_K , обусловленных видом функциональных зависимостей $f(\beta)$, $\gamma_{E4}(\beta)$ и $\gamma_{R4}(\beta)$, получим выражения (6):

$$\varepsilon_k = \left| \frac{\Delta\beta_K}{\beta_K} \right| = \left| \frac{1}{\beta_K} \cdot \frac{dG_K}{dZ_K} \cdot \Delta(Z_K) \right|, \quad (6)$$

где $K = R2, E4, R4$; $G_K = f, \gamma_{E4}, \gamma_{R4}$; $\Delta(Z_K)$ – абсолютные статистические ошибки измеряемых величин: $Z_K = \frac{R^2}{(\bar{R})^2}, \frac{E_m^4}{(\bar{E}_m^2)^2}, \frac{R^4}{(\bar{R}^2)^2}$.

Погрешности (включая статистические) для разных методик определения β_K :

$$\varepsilon_{R2}(\beta) = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{[(1 + \beta^2) \cdot I_0(\beta^2/2) + \beta^2 \cdot I_1(\beta^2/2)]^3}{\beta^2 \cdot \exp(\beta^2) \cdot I_1(\beta^2/2)} \cdot \Delta(Z_{R2});$$

$$\varepsilon_{E4}(\beta) = \frac{(1 + \beta^2)^3}{6 \cdot \beta^4} \cdot \Delta(Z_{E4}), \quad (7)$$

$$\varepsilon_{R4}(\beta) = \frac{(1 + \beta^2)^3}{4 \cdot \beta^4} \cdot \Delta(Z_{R4}).$$

Статистическая ошибка $\Delta(Z_K)$ зависит от объёма выборки N и при одинаковых объёмах выборки может быть разной для каждого из способов. Чтобы акцентировать внимание на погрешностях за счёт различия функциональных зависимостей (3) – (5), нормируем (7) на $\Delta(Z_K)$.

Графики зависимостей $\varepsilon_K^* = \frac{\varepsilon_K}{\Delta(Z_K)}$ для β_{R2}, β_{E4} и β_{R4} приведены на рис. 1. ε_K^* будем ниже называть аналитической (относительной) погрешностью метода.

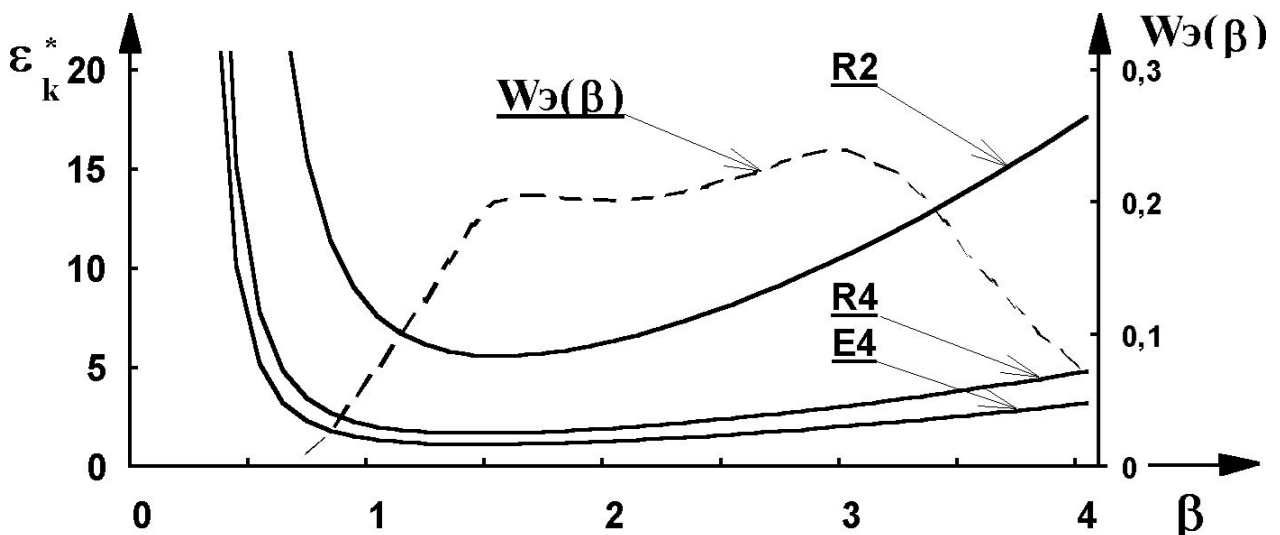


Рис. 1. Графики зависимостей ε_K^* , $K = R2, R4, E4$ (сплошные линии) и экспериментальное распределение $W_{\text{э}}(\beta)$ (пунктир) (слой F2, 4,5 – 9,5 МГц, единичный сигнал)

Экспериментальное распределение $W_{\text{э}}(\beta)$ определяет диапазон изменения β .

Из выражений (4) и (5) видно, что $\varepsilon_{E4}^* = \frac{2}{3} \cdot \varepsilon_{R4}^*$ – одного порядка и существенно (на порядок) превосходят точность измерения стандартной $R2$ методики. В итоге, анализ аналитических погрешностей оценки параметра β_K позволил рекомендовать метод $R4$ вместо стандартного $R2$. При этом достаточно высокая аналитическая (относительная) точность оценки параметра β_K может быть достигнута с помощью некогерентной аппаратуры, используя выражение (5) метода $R4$. Отметим, что за когерентной методикой $E4$ остаётся возможность оптимизации статистической ошибки путём соответствующей специальной цифровой обработки ионосферного сигнала [2].

Тестирование метода

Интерпретация получаемых данных производится на основе статистической мультипликативной модели сигнала. Тестирование метода получения “параметра рассеяния” сигнал/шум в указанной модели произведено на примере двукратного отражения зондирующего сигнала при его вертикальном распространении. В ходе работы рассматривались вопросы чувствительности модели по изучаемому параметру.

В связи с тем, что параметр рассеяния формируется и неоднородностями диэлектрической проницаемости подповерхностных структур, данным методом при организации мониторингового зондирования, возможно выявлять области изменения этих сред, например, на предмет оценки сейсмической опасности и сейсмического риска.

Для тестирования метода при изменении параметра рассеивающей “подложки” типичных ионосферных сигналов различной кратности был выполнен численный эксперимент на ЭВМ, анализ данных которого показал, что:

1. Метод дистанционной диагностики в КВ-диапазоне чувствителен по исследуемому параметру. При объёме выборки $N \geq 240$ точность определения изучаемого параметра не хуже 5%.

2. Чувствительность метода, его точностные характеристики сохраняются даже при существенном изменении параметров сред распространения.

3. Сопоставление данных численного и натурального экспериментов указывает, что для обеспечения оценки параметра рассеяния в условиях реального эксперимента с точностью сравнимой с аппаратурной погрешностью можно рекомендовать увеличивать длительность сеансов наблюдения до $8 \div 10$ минут.

Экспериментальная установка для синхронной регистрации ионосферных

Для получения необходимых экспериментальных данных используется импульсный метод когерентного приёма. Этот метод позволяет регистрировать низкочастотные квадратурные составляющие ионосферного сигнала $E_c(t)$, $E_s(t)$. По ним возможно определение огибающей $R(t)$ и фазы $\Phi(t)$, то есть функции модуляции сигнала. Аппаратура когерентного приёма позволяет также непосредственно регистрировать огибающую и фазу отражённого от ионосферы сигнала. Такой комплексный подход к изучению свойств радиосигнала тем более необходим при изучении кратных ионосферных отражений, где одновременно действует целый ряд факторов, определяющих поле ионосферного сигнала.

Для того чтобы применить аппаратуру когерентного приёма к исследованию кратных ионосферных отражений, необходимо обеспечить возможность выделения и од-

новременной регистрации параметров, относящихся к сигналам разной кратности. При этом необходимо учитывать изменение ряда требований к работе аппаратуры (величин погрешностей, стабильности генераторов, масштабы времени) по сравнению с требованиями к установкам для изучения однократных отражений.

Всё вышесказанное и определило пути модернизации аппаратуры когерентного приёма для обеспечения работы по исследованию свойств кратных отражений. В установке используется схема регистрации низкочастотных квадратурных компонент ионосферного сигнала $E_c(t)$, $E_s(t)$ и огибающей $R(t)$. Модернизация обеспечила регистрацию на ЭВМ упомянутых параметров сигнала одновременно для сигналов различной кратности. Это достигнуто применением специальной многоканальной системы стробирования и регистрации. На рис. 2-3 представлена структурная схема установки со схемой регистрации и стробирования.

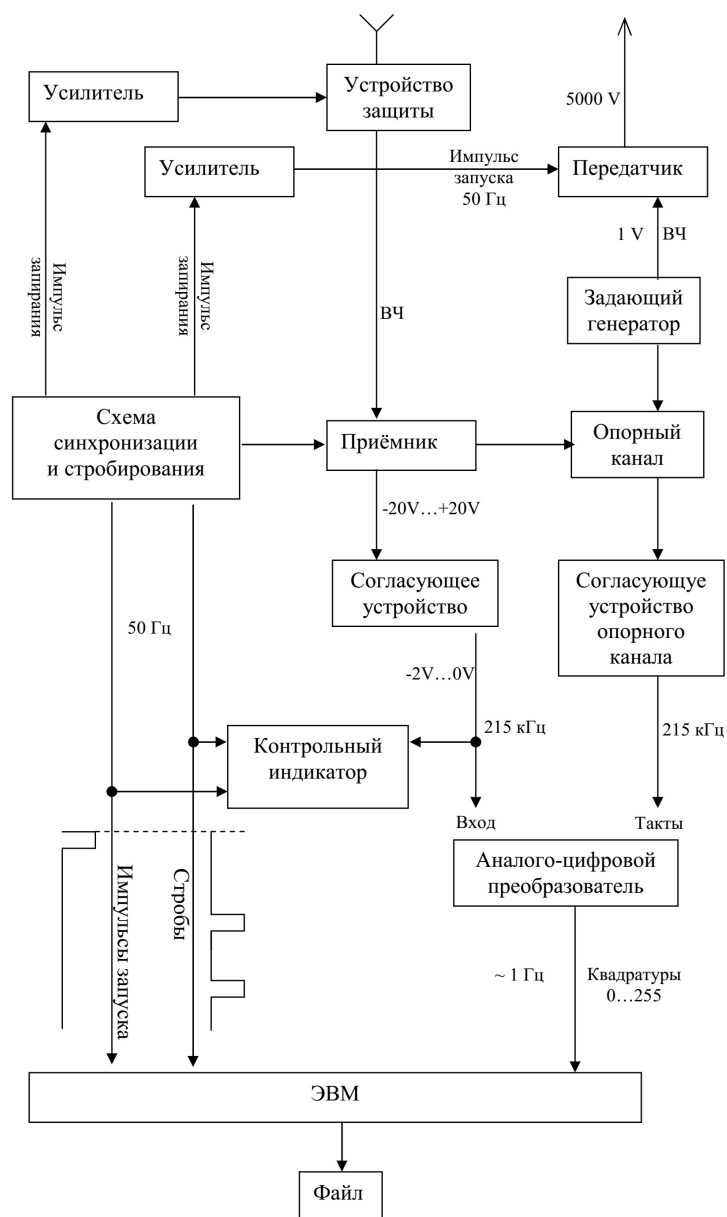


Рис. 2. Функциональная схема экспериментальной установки Наземного Измерительного Комплекса

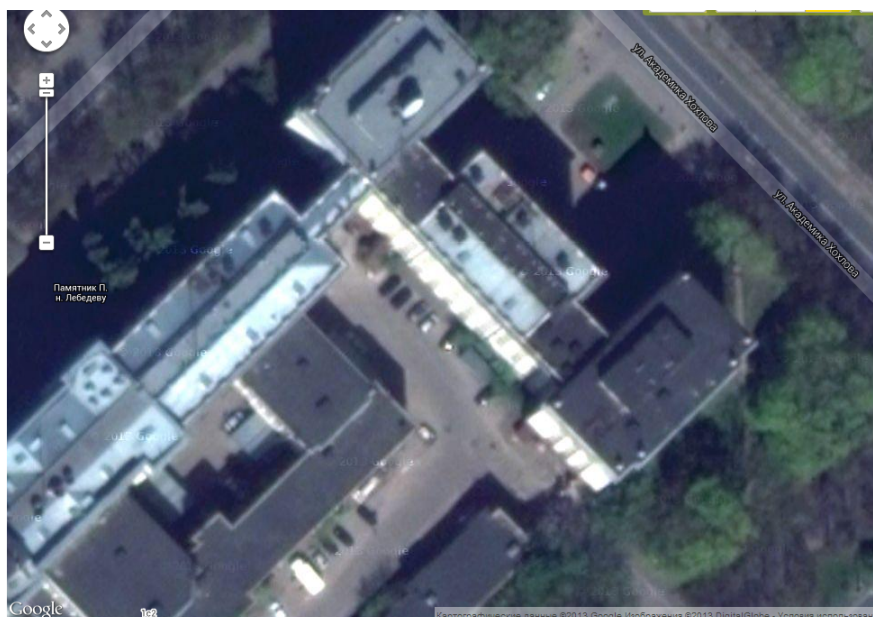


Рис. 3. Фотография со спутника месторасположения экспериментальной установки Наземного Измерительного Комплекса Физического факультета МГУ

Установка позволяет осуществлять одновременную регистрацию параметров кратных ионосферных отражений (рис. 4-7).

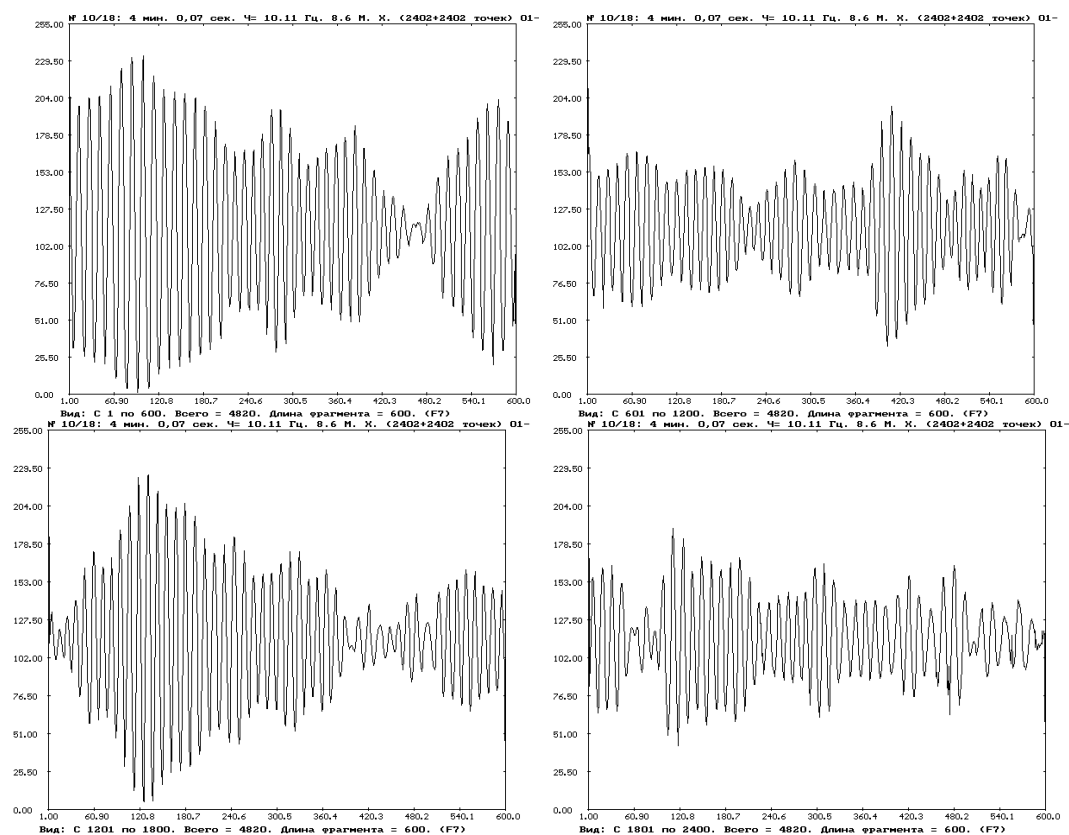


Рис. 4. Изменение со временем квадратурной компоненты ионосферного сигнала, однократно отражённого: 1-я, 2-я, 3-я, 4-я минуты сеанса (слева направо сверху вниз).

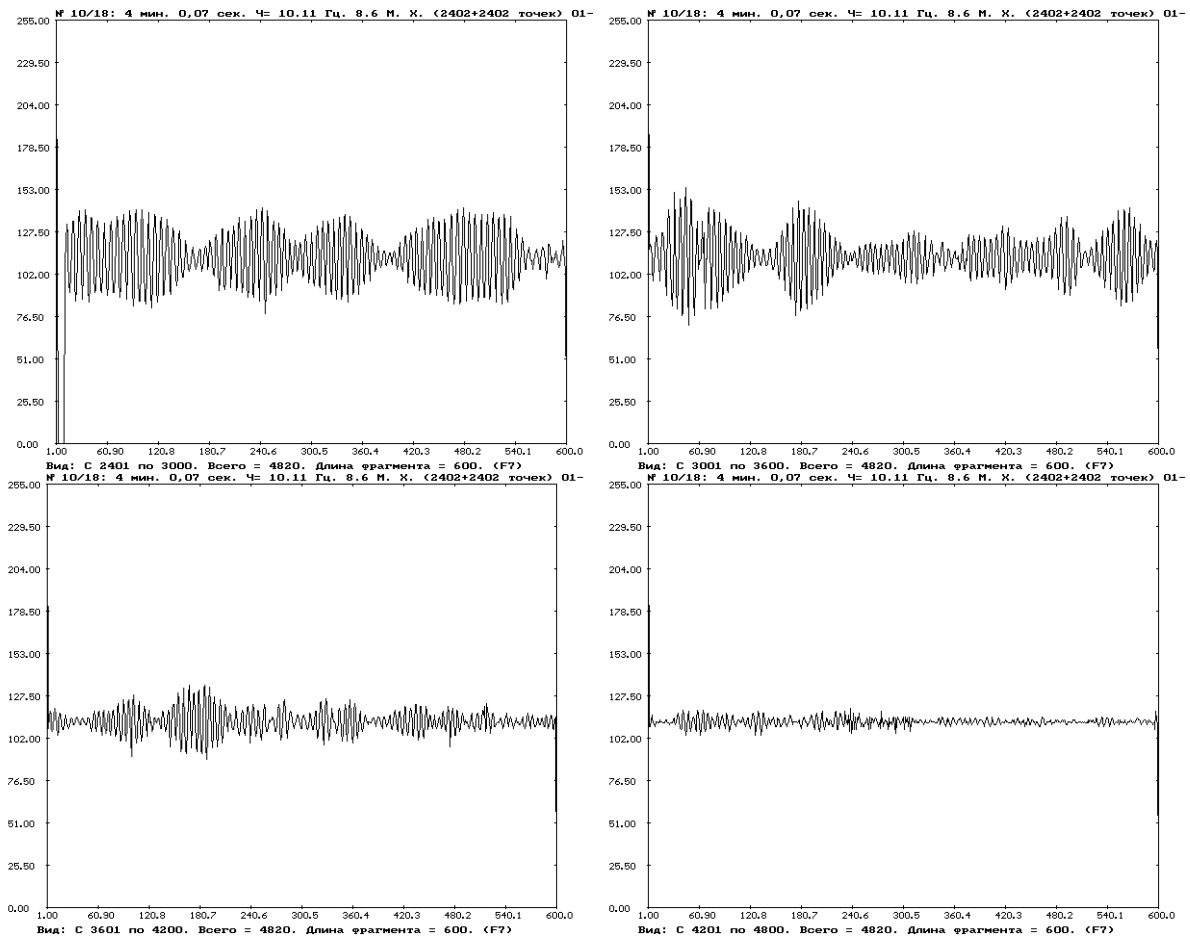


Рис. 5. Изменение со временем квадратурной компоненты ионосферного сигнала второго отражения: 1-я, 2-я, 3-я, 4-я минуты сеанса (слева направо сверху вниз).

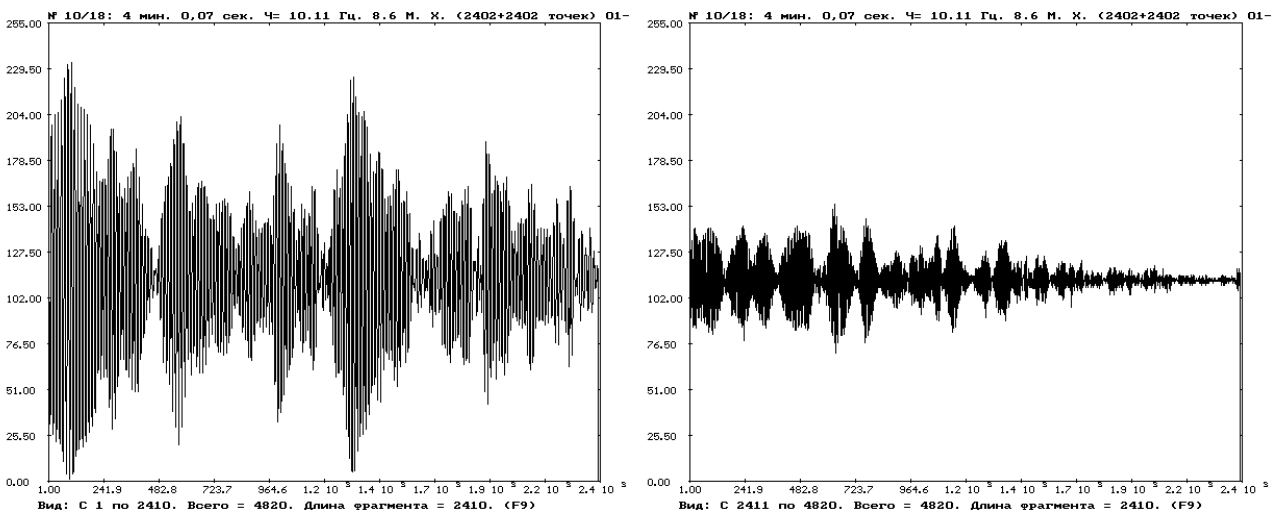


Рис. 6. Изменение со временем квадратурной компоненты ионосферного сигнала первого и второго отражений, сеанс 4 мин.

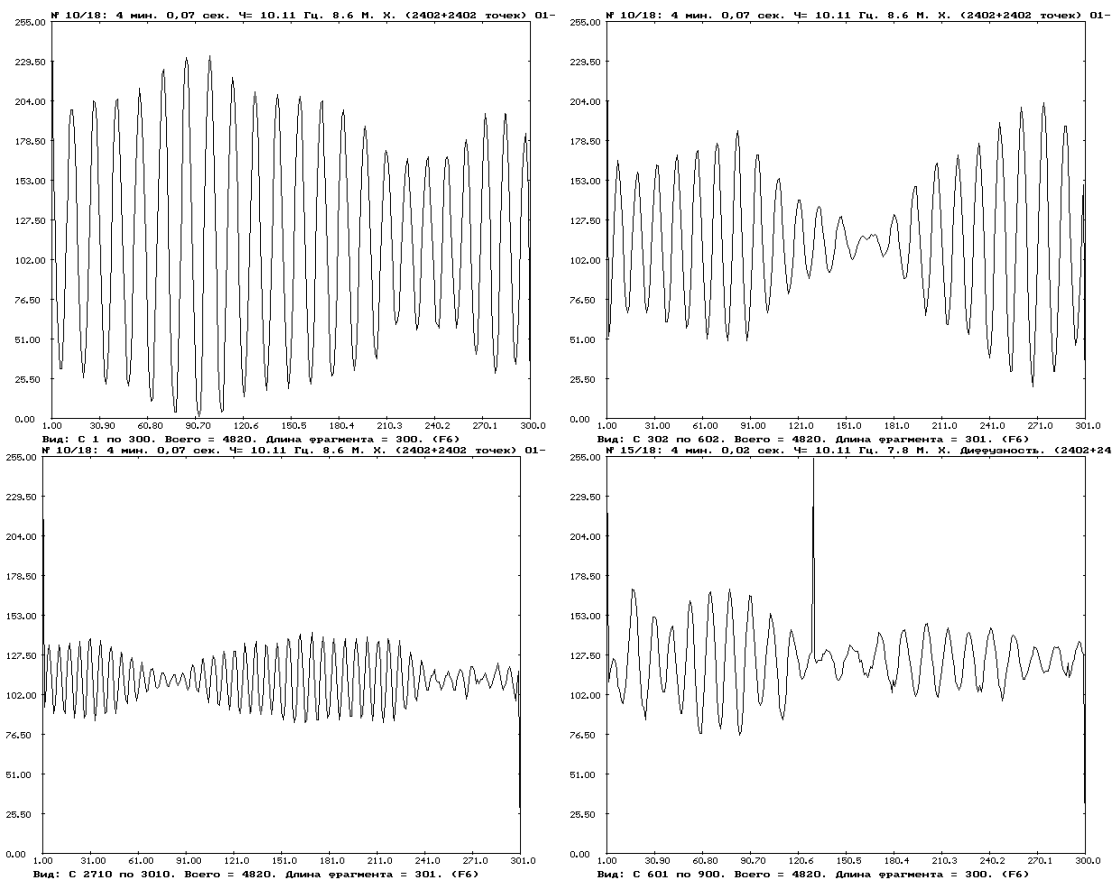


Рис. 7. Изменение со временем квадратурной компоненты ионосферного сигнала первого и второго отражений

Ниже рассматривается работа и назначение отдельных блоков.

Принцип работы основных блоков

Задающий генератор вырабатывает напряжение синусоидальной формы с амплитудой 1-2 В в диапазоне частот 2-15 МГц. Это напряжение поступает на передатчик, управляемый синхронизирующими импульсами. В результате на передающую антенну поступают прямоугольные радиоимпульсы регулируемой длительности в интервале $100 \div 500$ мкс. Период следования импульсов 20 мс, что достаточно для приёма нескольких кратных отражений за время между посылками. Передатчик имеет импульсную мощность около 12-15 кВт. Излучение происходит с помощью антенны типа «ромб» с диагоналями 50 м и 25 м по горизонтали и вертикали соответственно.

Отражённый от ионосферы сигнал принимается на симметричный диполь с длиной луча 14 м, и по двухпроводному кабелю поступает на вход приёмника, в нём происходит усиление сигналов. Коэффициент усиления может регулироваться, максимальное его значение 20 дБ. Далее происходит преобразование частоты. В качестве гетеродина в схеме преобразования используется генератор по схеме индуктивной трёхточки. Со смесителя приёмника напряжение подаётся на усилитель промежуточной частоты, в котором предусмотрена регулировка, как коэффициента усиления, так и полосы пропускания. Усилитель имеет 4 каскада усиления с трансформатора-

ми промежуточной частоты. Второй и третий трансформаторы имеют регулировку, которая позволяет изменять полосу пропускания в пределах 7-30 кГц.

Усиленное напряжение промежуточной частоты детектируется и поступает на усилитель низкой частоты приёмника, а также на АЦП. На контрольный индикатор поступает напряжение низкой частоты с согласующего устройства после приёмника и стробирующие импульсы со схемы синхронизации и стробирования. Контрольный индикатор позволяет визуально выбрать сигналы нужных кратностей и определить порядок их регистрации.

Метод когерентного приёма предусматривает, в частности, сравнение фаз принятого сигнала и излучённого. Для этого необходимо иметь канал опорного напряжения. Так как в данной установке сравнение происходит на промежуточной частоте, то на входе канала опорного напряжения происходит преобразования частоты задающего генератора в промежуточную в блоке смесителя опорного канала. Опорное напряжение промежуточной частоты формируется из напряжения задающего генератора и гетеродина приёмника. Далее опорное напряжение поступает в усилитель промежуточной частоты канала опорного напряжения. Усиленное до необходимого уровня опорное напряжение поступает в согласующее устройство опорного канала, где из синусоидального напряжения формируется последовательность импульсов. Полученные импульсы подаются на АЦП. В результате возможна регистрация низкочастотных квадратурных составляющих сигнала, причём даже с использованием ЭВМ с не очень высоким быстродействием за счёт применения оригинальных алгоритмов оптимизации: патент – [2].

Для одновременной регистрации параметров сигналов различных кратностей существенно изменена функциональная схема регистратора, создана многоканальная система стробирования и специальный синхронизатор. Ранее регистратор обеспечивал запись на киноплёнке квадратурных составляющих сигналов различной кратности, а также энергетической огибающей и суммарной фазы.

ЭЛТ является контрольным индикатором в системе для визуального наблюдения и наведения стробов. Изменяя временное положение стробов, можно выбрать нужное отражение, так как различной кратности соответствуют различные задержки относительно зондирующего импульса. Попадание сигналов различной кратности в соответствующий канал регистратора АЦП обеспечивается схемой синхронизации и стробирования и контролируется по визуальному индикатору. Управление работой измерительного комплекса и согласование его узлов осуществляется схемой синхронизации. На вход которой поступает напряжение частоты 50 Гц, которое запускает все основные блоки установки. С этой частотой формируется модулирующий импульс для управления работой передатчика, импульс запирающего приёмного канала на время зондирующего импульса, а также ряд напряжений для управления работой контрольного индикатора и ЭВМ.

О методике экспериментальных исследований

Ранее были рассмотрены вопросы теории общих методик и способов определения параметров сигнал/шум при исследовании свойств кратных ионосферных отражений: способ определения параметра β для отражений различной кратности; способ определения β_2 в условиях новой статистической модели для кратных отражений; оценка рассеивающей способности «шероховатой» земной поверхности в КВ-диапазоне. Вы-

полненный сравнительный анализ эффективности различных методик определения параметра β с одной стороны позволил обосновать выбор оптимальной методики надёжной оценки параметра β в условиях настоящего эксперимента. С другой стороны анализ имеет более общую значимость, поскольку получение оперативных и надёжных сведений о β представляет интерес при решении задач надёжности и совершенствования работы каналов связи, а также позволяет судить о механизме ионосферного и земного рассеяния, о структуре сигнала.

Параметр рассеивающей способности «шероховатой» земной поверхности в КВ-диапазоне может зависеть: от пространственной концентрации построек, их распределения и сочетания с открытыми пространствами (степень их поляризации с условно природными элементами); от функционального содержания районов (жилые, производственные или рекреационные), обуславливающего интенсивность и характер деятельности; а также и от неоднородностей диэлектрической проницаемости подповерхностных структур.

Заключение

Мониторинг поверхности земли методом дистанционного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн может позволить оперативно проводить диагностику подповерхностных структур, выявлять области изменения этих сред, например, на предмет оценки сейсмической опасности. Данный диапазон позволяет диагностировать и подповерхностный слой земли, поскольку параметр рассеяния формируется и неоднородностями диэлектрической проницаемости подповерхностных структур. Анализ аналитических погрешностей оценки параметра β_k позволил рекомендовать метод R_4 вместо стандартного R_2 . При этом достаточно высокая аналитическая (относительная) точность оценки параметра β_k может быть достигнута с помощью некогерентной аппаратуры, используя метод R_4 .

Список литературы

- [1] Альперт Я. Л., *Распространение радиоволн в ионосфере*, АН СССР, М., 1960. [Al'pert Ya. L., *Rasprostranenie radiovoln v ionosfere*, AN SSSR, M., 1960].
- [2] Белов С. Ю., *Программа регистрации квадратурных компонент n-кратного отражённого от земной поверхности радиосигнала*, Свидетельство о регистрации права на программное обеспечение № RU.2016612172 от 19.02.2016 г. [Belov S. Yu., *Programma registratsii kvadraturnykh komponent n-kratnogo otrazhennogo ot zemnoy poverkhnosti radiosignala*, Svidetel'stvo o registratsii prava na programmnnoe obespechenie № RU.2016612172 ot 19.02.2016 g.].
- [3] Белов С. Ю., “Экспериментальное исследование характеристик когерентной и некогерентной обработки информации при дистанционном зондировании атмосферы и “шероховатой” земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн”, *Известия высших учебных заведений. Физика*, **59**:12-3 (2016), 121–124. [Belov S. Yu., “Eksperimental'noe issledovanie kharakteristik kogerentnoy i nekogerentnoy obrabotki informatsii pri distantsionnom zondirovanii atmosfery i “sherokhovatoy” zemnoy poverkhnosti v korotkovolnovom diapazone radiovoln”, *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Fizika*, **59**:12-3 (2016), 121–124].
- [4] Белов С. Ю., Белова И. Н., “Функциональная схема экспериментальной аппаратуры когерентного приёма в задачах мониторинга поверхности земли методом дистанционного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн”, *Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий*, Майкоп, 2015, 53–58. [Belov S. Yu., Belova I. N., “Funktsional'naya skhema eksperimental'noy apparatury kogerentnogo priema v zadachakh monitoringa poverkhnosti

- zemli metodom distantsionnogo zondirovaniya v korotkovolnovom diapazone radiovoln”, *Prikladnye aspekty geologii, geofiziki i geoekologii s ispol'zovaniem sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy*, Маукоп, 2015, 53–58].
- [5] Белов С. Ю., “Космический мониторинг характеристик прибрежных территорий для обеспечения экологической безопасности зондированием в коротковолновом диапазоне радиоволн”, *Экология. Экономика. Информатика. Азовское море, Керченский пролив и предпроливные зоны в Чёрном море: проблемы управления прибрежными территориями для обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования*, Издательство Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, 2016, 27–41. [Belov S. Yu., “Kosmicheskiy monitoring kharakteristik pribrezhnykh territoriy dlya obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti zondirovaniem v korotkovolnovom diapazone radiovoln”, *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Azovskoe more, Kerchenskiy proliv i predprolivnyye zony v Chernom more: problemy upravleniya pribrezhnymi territoriyami dlya obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti i ratsional'nogo prirodoopol'zovaniya*, Izdatel'stvo Yuzhnogo federal'nogo universiteta, Rostov-na-Donu, 2016, 27–41].
- [6] Белов С. Ю., “О некоторых характеристиках рассеивающей способности земной поверхности при дистанционном зондировании в коротковолновом диапазоне радиоволн”, *Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли*, СФУ, Красноярск, 2015, 101–104. [Belov S. Yu., “O nekotorykh kharakteristikakh rasseivayushchey sposobnosti zemnoy poverkhnosti pri distantsionnom zondirovanii v korotkovolnovom diapazone radiovoln”, *Regional'nye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli*, SFU, Krasnoyarsk, 2015, 101–104].
- [7] Белов С. Ю., Белова И. Н., “Выявление экологического риска при мониторинге поверхности земли методом дистанционного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн”, *Экология и космос*, ВКА имени А.Ф. Можайского, СПб., 2015, 70–76. [Belov S. Yu., Belova I. N., “Vyyavlenie ekologicheskogo riska pri monitoringe poverkhnosti zemli metodom distantsionnogo zondirovaniya v korotkovolnovom diapazone radiovoln”, *Ekologiya i kosmos*, VKA imeni A.F. Mozhayskogo, SPb., 2015, 70–76].
- [8] Белов С. Ю., Белова И. Н., “О параметре “возмущённости” неоднородного флуктуирующего дифракционного экрана”, *Атмосферная Радиация и Динамика» (МСАРД–2015)*, Санкт–Петербург, 2015, 103. [Belov S. Yu., Belova I. N., “O parametre “vozmushchennosti” neodnorodnogo fluktuiruyushchego difraktsionnogo ekrana”, *Atmosfernaya Radiatsiya i Dinamika» (MSARD–2015)*, Sankt–Peterburg, 2015, 103].
- [9] Белов С. Ю., Белова И. Н., “Мониторинг поверхности земли методом дистанционного зондирования в КВ-радиодиапазоне”, *Экология-2015*, Архангельск, 2015, 6–7. [Belov S. Yu., Belova I. N., “Monitoring poverkhnosti zemli metodom distantsionnogo zondirovaniya v KV-radiodiapazone”, *Ekologiya-2015*, Arkhangel'sk, 2015, 6–7].
- [10] Белов С. Ю., “О возможности повышения точности измерения рассеивающей способности земной поверхности при дистанционном зондировании в коротковолновом диапазоне радиоволн”, *Структура, вещество, история литосферы тимано-североуральского сегмента*, Геопринт, Сыктывкар, 2015, 28–31. [Belov S. Yu., “O vozmozhnosti povysheniya tochnosti izmereniya rasseivayushchey sposobnosti zemnoy poverkhnosti pri distantsionnom zondirovanii v korotkovolnovom diapazone radiovoln”, *Struktura, veshchestvo, istoriya litosfery timano-severoural'skogo segmenta*, Geoprint, Syktyvkar, 2015, 28–31].
- [11] Белов С. Ю., “Численное моделирование в задаче тестирования метода дистанционной диагностики рассеивающей способности земной поверхности в КВ-радиодиапазоне”, *Материалы Международного молодёжного научного форума «Ломоносов-2015»*, МАКС Пресс, М., 2015. [Belov S. Yu., “Chislennoe modelirovanie v zadache testirovaniya metoda distantsionnoy diagnostiki rasseivayushchey sposobnosti zemnoy poverkhnosti v KV-radiodiapazone”, *Materialy Mezhdunarodnogo molodezhnogo nauchnogo foruma «Lomonosov-2015»*, MAKS Press, M., 2015].
- [12] Белов С. Ю., Белова И. Н., “Сравнительные характеристики методов определения параметра сигнал/шум при дистанционном зондировании в коротковолновом диапазоне радиоволн”, *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, ИКИ РАН, М., 2015, 17. [Belov S. Yu., Belova I. N., “Sravnitel'nye kharakteristiki metodov opredeleniya parametra signal/shum pri distantsionnom zondirovanii v korotkovolnovom diapazone radiovoln”, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, IKI RAN, M., 2015, 17].
- [13] Белов С. Ю., Белова И. Н., “О возможности повышения информативности методик определения параметра сигнал/шум на примере распространения радиосигнала коротковолнового диапазона радиоволн”, *Нелинейные волны–2016*, ФГБНУ «ФИЦ Институт прикладной физики РАН», Нижний Новгород, 2016, 34. [Belov S. Yu., Belova I. N., “O vozmozhnosti povysheniya informativnosti metodik opredeleniya parametra signal/shum na primere raspriystraneniya radiosignala korotkovolnovogo diapazona radiovoln”, *Nelineynyye volny–2016*, FGBNU «FIC Institut prikladnoy fiziki RAN», Nizhniy Novgorod, 2016, 34].

- vozmozhnosti povysheniya informativnosti metodik opredeleniya parametra signal/shum na primere rasprostraneniya radiosignala korotkovolnovogo diapazona radiovoln", *Nelineynye volny-2016*, FGBNU «FITs Institut prikladnoy fiziki RAN», Nizhniy Novgorod, 2016, 34].
- [14] Белов С. Ю., Белова И. Н., "Тестирование метода дистанционного зондирования "шероховатой" земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн", *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, ИКИ РАН, М., 2015, 343. [Belov S. Yu., Belova I. N., "Testirovanie metoda distantsionnogo zondirovaniya "sherokhovatoy" zemnoy poverkhnosti v korotkovolnovom diapazone radiovoln", *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, IKI RAN, M., 2015, 343].
- [15] Белов С. Ю., "О способах определения параметра сигнал/шум при отражении радиоволн от границы раздела двух сред в КВ-диапазоне", *Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования*, ФГБУН МГИ, Севастополь, 2016, 528–533. [Belov S. Yu., "O sposobakh opredeleniya parametra signal/shum pri otrazhenii radiovoln ot granitsy razdela dvukh sred v KV-diapazone", *Kompleksnyye issledovaniya morey Rossii: operativnaya okeanografiya i ekspeditsionnyye issledovaniya*, FGBUN MGI, Sevastopol', 2016, 528–533].
- [16] Белов С. Ю., "Когерентный и некогерентный методы определения параметра сигнал/шум в задачах распространения радиосигнала коротковолнового диапазона радиоволн", *Ломоносов-2016*, Сборник. Т. 1, Физический факультет МГУ, М., 2016, 171–173. [Belov S. Yu., "Kogerentnyy i nekogerentnyy metody opredeleniya parametra signal/shum v zadachakh rasprostraneniya radiosignala korotkovolnovogo diapazona radiovoln", *Lomonosov-2016*, Sbornik. V. 1, Fizicheskiy fakul'tet MGU, M., 2016, 171–173].
- [17] Белов С. Ю., "Математические методы определения статистических характеристик радиосигнала, полученного с использованием экспериментальной аппаратуры когерентного приёма наземного измерительного комплекса", *Ломоносовские чтения-2017*, Физический факультет МГУ, М., 2017, 147–151. [Belov S. Yu., "Matematicheskie metody opredeleniya statisticheskikh kharakteristik radiosignala, poluchennogo s ispol'zovaniem eksperimental'noy apparatury kogerentnogo priema nazemnogo izmeritel'nogo kompleksa", *Lomonosovskie chteniya-2017*, Fizicheskiy fakul'tet MGU, M., 2017, 147–151].
- [18] Белов С. Ю., "Дистанционные методы наблюдений и технологии мониторинга природно-техногенных опасных процессов в коротковолновом диапазоне радиоволн", *Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз*, ИМГиГ ДВО РАН, Южно-Сахалинск, 2016, 172–175. [Belov S. Yu., "Distantsionnyye metody nablyudeniya i tekhnologii monitoringa prirodno-tekhnogennykh opasnykh protsessov v korotkovolnovom diapazone radiovoln", *Prirodnyye katastrofy: izuchenie, monitoring, prognoz*, IMGiG DVO RAN, Yuzhno-Sakhalinsk, 2016, 172–175].
- [19] Белов С. Ю., Белова И. Н., "Исследование характеристик когерентной и некогерентной обработки информации при дистанционном зондировании атмосферы и "шероховатой" земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн", *Распространение радиоволн РРВ-25*. Т. 3, Томск, 2016, 94–97. [Belov S. Yu., Belova I. N., "Issledovanie kharakteristik kogerentnoy i nekogerentnoy obrabotki informatsii pri distantsionnom zondirovanii atmosfery i "sherokhovatoy" zemnoy poverkhnosti v korotkovolnovom diapazone radiovoln", *Rasprostraneniye radiovoln RRV-25*. V. 3, Tomsk, 2016, 94–97].
- [20] Белов С. Ю., "Программно-аппаратный комплекс наземной измерительной установки когерентного приёма по исследованию рассеивающей способности земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн", *Ломоносов-2017*, МАКС Пресс, М., 2017. [Belov S. Yu., "Programmno-apparatnyy kompleks nazemnoy izmeritel'noy ustanovki kogerentnogo priema po issledovaniyu rasseivayushchey sposobnosti zemnoy poverkhnosti v korotkovolnovom diapazone radiovoln", *Lomonosov-2017*, MAKS Press, M., 2017].
- [21] Белов С. Ю., "Теоретическое и экспериментальное сопоставление когерентного и некогерентного методов определения параметра сигнал/шум в задачах распространения радиоволн коротковолнового диапазона", *Учён. зап. физ. фак-та Моск. ун-та*, 2016, № 3, 163107.1-6.. [Belov S. Yu., "Teoreticheskoe i eksperimental'noe sopostavlenie kogerentnogo i nekogerentnogo metodov opredeleniya parametra signal/shum v zadachakh rasprostraneniya radiovoln korotkovolnovogo diapazona", *Uchen. zap. fiz. fak-ta Mosk. un-ta*, 2016, № 3, 163107.1-6.].
- [22] Белов С. Ю., "Аппаратура в авторском варианте для когерентного зондирования рассеивающей способности земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн", *Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента*, Геопринт, Сыктывкар, 2016, 8–11. [Belov S. Yu., "Apparatura v avtorskom variante dlya kogerentnogo zondirovaniya rasseivayushchey sposobnosti zemnoy poverkhnosti v

- korotkovolnovom diapazone radiovoln”, *Struktura, veshchestvo, istoriya litosfery Timano-Severoural’skogo segmenta*, Geoprint, Syktyvkar, 2016, 8–11].
- [23] Белов С. Ю., Белова И. Н., “Математические методы определения характеристик рассеивающей способности отражающего экрана когерентным и некогерентным способами”, *Математика, физика, информатика и их приложения в науке и образовании*, МГУ (МИРЭА), М., 2016, 155–157. [Belov S. Yu., Belova I. N., “Matematicheskie metody opredeleniya kharakteristik rasseivayushchey sposobnosti otrazhayushchego ekrana kogherentnym i nekogherentnym sposobami”, *Matematika, fizika, informatika i ikh prilozheniya v nauke i obrazovanii*, MTU (MIREA), M., 2016, 155–157].
- [24] Белова И. Н., Белов С. Ю., “Методы дистанционной диагностики некоторых параметров при исследовании прибрежных районов Арктики в коротковолновом диапазоне радиоволн”, *Климат и эколого-географические проблемы Российской Арктики*, ООО «Каем», Апатиты, 2016, 20. [Belova I. N., Belov S. Yu., “Metody distantsionnoy diagnostiki nekotorykh parametrov pri issledovanii pribrezhnykh rayonov Arktiki v korotkovolnovom diapazone radiovoln”, *Klimat i ekologo-geograficheskie problemy Rossiyskoy Arktiki*, ООО «Каем», Апатиты, 2016, 20].
- [25] Белов С. Ю., “О путях повышения эффективности работы систем спутникового мониторинга в коротковолновом диапазоне радиоволн”, *Мировой океан: модели, данные и оперативная океанология*, ФГБУН МГИ, Севастополь, 2016, 155–156. [Belov S. Yu., “O putyakh povysheniya effektivnosti raboty sistem sputnikovogo monitoringa v korotkovolnovom diapazone radiovoln”, *Mirovoyu okean: modeli, dannye i operativnaya okeanologiya*, FGBUN MGI, Sevastopol’, 2016, 155–156].
- [26] Белов С. Ю., “Сопоставление когерентного и некогерентного методов определения параметра сигнал/шум в задачах распространения радиоволн коротковолнового диапазона”, *Ломоносовские чтения–2016*, Физический факультет МГУ, М., 2016, 127–130. [Belov S. Yu., “Sopostavlenie kogherentnogo i nekogherentnogo metodov opredeleniya parametra signal/shum v zadachakh rasprostraneniya radiovoln korotkovolnovogo diapazona”, *Lomonosovskie chteniya–2016*, Fizicheskiy fakul’tet MGU, M., 2016, 127–130].
- [27] Белов С. Ю., Белова И. Н., “Геофизические методы мониторинга поверхностных и подповерхностных структур земли дистанционным зондированием в коротковолновом диапазоне радиоволн”, *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, ИКИ РАН, М., 2016, 302. [Belov S. Yu., Belova I. N., “Geofizicheskie metody monitoringa poverkhnostnykh i podpoverkhnostnykh struktur zemli distantsionnym zondirovaniem v korotkovolnovom diapazone radiovoln”, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, IKI RAN, M., 2016, 302].
- [28] Белов С. Ю., Белова И. Н., “Дистанционные методы изучения природных комплексов прибрежных районов Арктики в коротковолновом радиодиапазоне”, *Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов Арктической зоны*, Архангельск, 2016, 30–36. [Belov S. Yu., Belova I. N., “Distantsionnye metody izucheniya prirodnykh kompleksov pribrezhnykh rayonov Arktiki v korotkovolnovom radiodiapazone”, *Prirodnye resursy i kompleksnoe osvoenie pribrezhnykh rayonov Arkticheskoy zony*, Arkhangel’sk, 2016, 30–36].
- [29] Белов С. Ю., “Программно-аппаратный комплекс наземной измерительной установки когерентного приёма по исследованию рассеивающей способности земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн”, *XXIV Международная конференция «Ломоносов–2017*, Сборник тезисов, Физический факультет МГУ, М., 2017, 502–504. [Belov S. Yu., “Programmno-apparatnyy kompleks nazemnoy izmeritel’noy ustanovki kogherentnogo priema po issledovaniyu rasseivayushchey sposobnosti zemnoy poverkhnosti v korotkovolnovom diapazone radiovoln”, *XXIV Mezhdunarodnaya konferentsiya «Lomonosov–2017*, Sbornik tezisov, Fizicheskiy fakul’tet MGU, M., 2017, 502–504].
- [30] Belov S. Yu., “Monitoring of parameters of coastal Arctic ecosystems for sustainability control by remote sensing in the short-wave range of radio waves”, *The Arctic Science Summit Week 2017*, Prague, 2017, 161.
- [31] Belov S. Yu., Belova I. N., “Environmental aspects of the use of remote sensing of the earth’s surface in the short-wave range of radio waves”, *IGCP 610 Third Plenary Conference and Field Trip “From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary”*, Moscow, MSU., Astrakhan, Russia, 2015, 29–31.
- [32] Belov S. Yu., Belova I. N., “The analysis of methods of determination the scattering parameter of the inhomogeneous fluctuating ionospheric screen”, *Atmosphere, ionosphere, safety (AIS–2016)*, Kaliningrad, 2016, 435–440.
- [33] Belov S. Yu., Belova I. N., “Methods of obtaining data on the characteristics of superficial and subsurface structures of the earth by remote sensing in the short-wave range of radio

- waves”, *IGCP 610 project “From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary” (2013-2017)*, GNAS, Tbilisi, Georgia, 2016, 26–29.
- [34] Belov S. Yu., “The analysis of monitoring data of the parameter scattering power the earth’s surface in the short-wave range of radio waves”, *Data Intensive System Analysis for Geohazard Studies, Geoinformatics research papers*, 4:2 (2016), 50.
- [35] Belov S. Yu., Belova I. N., Falomeev S. D., “Monitoring of coastal ecosystems by method of remote sensing in the short-wave range of radio waves”, *Managing Risks to Coastal Regions and Communities in a Changing World*, St. Petersburg, 2016.

Список литературы (ГОСТ)

- [1] Альперт Я.Л. Распространение радиоволн в ионосфере. М.: АН СССР. 1960.
- [2] Белов С.Ю. Программа регистрации квадратурных компонент n-кратного отражённого от земной поверхности радиосигнала. Свидетельство о регистрации права на программное обеспечение № RU.2016612172 от 19.02.2016 г.
- [3] Белов С.Ю. Экспериментальное исследование характеристик когерентной и некогерентной обработки информации при дистанционном зондировании атмосферы и “шероховатой” земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн // Известия высших учебных заведений. Физика. 2016. Т. 59. № 12-3. С. 121–124.
- [4] Белов С.Ю., Белова И.Н. Функциональная схема экспериментальной аппаратуры когерентного приёма в задачах мониторинга поверхности земли методом дистанционного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн // Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. Майкоп. 2015. С. 53–58.
- [5] Белов С.Ю. Космический мониторинг характеристик прибрежных территорий для обеспечения экологической безопасности зондированием в коротковолновом диапазоне радиоволн // Экология. Экономика. Информатика. Азовское море, Керченский пролив и предпроливные зоны в Чёрном море: проблемы управления прибрежными территориями для обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. С. 27–41.
- [6] Белов С.Ю. О некоторых характеристиках рассеивающей способности земной поверхности при дистанционном зондировании в коротковолновом диапазоне радиоволн // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли. Красноярск: СФУ, 2015. С. 101–104.
- [7] Белов С.Ю., Белова И.Н. Выявление экологического риска при мониторинге поверхности земли методом дистанционного зондирования в коротковолновом диапазоне радиоволн // «Экология и космос». СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского. 2015. С. 70–76.
- [8] Белов С.Ю., Белова И.Н. О параметре “возмущённости” неоднородного флуктуирующего дифракционного экрана // Атмосферная Радиация и Динамика» (МСАРД–2015). Санкт–Петербург. 2015. С. 103.
- [9] Белов С.Ю., Белова И.Н. Мониторинг поверхности земли методом дистанционного зондирования в КВ-радиодиапазоне // «Экология-2015». Архангельск. 2015. С. 6–7.
- [10] Белов С.Ю. О возможности повышения точности измерения рассеивающей способности земной поверхности при дистанционном зондировании в коротковолновом диапазоне радиоволн // Структура, вещество, история литосферы тимано-североуральского сегмента, Сыктывкар: Геопринт. 2015. С. 28–31.

- [11] Белов С.Ю. Численное моделирование в задаче тестирования метода дистанционной диагностики рассеивающей способности земной поверхности в КВ-радиодиапазоне // *Материалы Международного молодёжного научного форума «Ломоносов-2015».* / Отв. ред. А.И. Андреев, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. – М.: МАКС Пресс, 2015.
- [12] Белов С.Ю., Белова И.Н. Сравнительные характеристики методов определения параметра сигнал/шум при дистанционном зондировании в коротковолновом диапазоне радиоволн // *«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса».* М.: ИКИ РАН, 2015. С. 17.
- [13] Белов С.Ю., Белова И.Н. О возможности повышения информативности методик определения параметра сигнал/шум на примере распространения радиосигнала коротковолнового диапазона радиоволн // *«Нелинейные волны–2016».* Нижний Новгород: ФГБНУ «ФИЦ Институт прикладной физики РАН», 2016. С. 34.
- [14] Белов С.Ю., Белова И.Н. Тестирование метода дистанционного зондирования “шероховатой” земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн // *«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса».* М.: ИКИ РАН, 2015. С. 343.
- [15] Белов С.Ю. О способах определения параметра сигнал/шум при отражении радиоволн от границы раздела двух сред в КВ-диапазоне // *Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования.* Севастополь: ФГБУН МГИ, 2016. С. 528–533.
- [16] Белов С.Ю. Когерентный и некогерентный методы определения параметра сигнал/шум в задачах распространения радиосигнала коротковолнового диапазона радиоволн // *«Ломоносов—2016».* Сборник. Т. 1. М.: Физический факультет МГУ, 2016. С. 171–173.
- [17] Белов С.Ю. Математические методы определения статистических характеристик радиосигнала, полученного с использованием экспериментальной аппаратуры когерентного приёма наземного измерительного комплекса // *Ломоносовские чтения–2017.* М.: Физический факультет МГУ. 2017. С. 147–151.
- [18] Белов С.Ю. Дистанционные методы наблюдений и технологии мониторинга природно-техногенных опасных процессов в коротковолновом диапазоне радиоволн // *Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз.* Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2016. С. 172–175.
- [19] Белов С.Ю., Белова И.Н. Исследование характеристик когерентной и некогерентной обработки информации при дистанционном зондировании атмосферы и “шероховатой” земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн // *Распространение радиоволн РРВ-25.* Томск, 2016. Т. 3. С. 94–97.
- [20] Белов С.Ю. Программно-аппаратный комплекс наземной измерительной установки когерентного приёма по исследованию рассеивающей способности земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн // *«Ломоносов-2017».* / Отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2017.
- [21] Белов С.Ю. Теоретическое и экспериментальное сопоставление когерентного и некогерентного методов определения параметра сигнал/шум в задачах распространения радиоволн коротковолнового диапазона // *Учён. зап. физ. фак-та Моск. ун-та.* 2016. № 3. С. 163107.1-6.
- [22] Белов С.Ю. Аппаратура в авторском варианте для когерентного зондирования рассеивающей способности земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн // *Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента.* Сыктывкар: Геопринт, 2016. С. 8–11.

- [23] Белов С.Ю., Белова И.Н. Математические методы определения характеристик рассеивающей способности отражающего экрана когерентным и некогерентным способами // Математика, физика, информатика и их приложения в науке и образовании. М.: МТУ (МИРЭА), 2016. С. 155–157.
- [24] Белова И.Н., Белов С.Ю. Методы дистанционной диагностики некоторых параметров при исследовании прибрежных районов Арктики в коротковолновом диапазоне радиоволн // «Климат и эколого-географические проблемы Российской Арктики». Апатиты. М.А: ООО «КаэМ». 2016. С. 20.
- [25] Белов С.Ю. О путях повышения эффективности работы систем спутникового мониторинга в коротковолновом диапазоне радиоволн // Мировой океан: модели, данные и оперативная океанология. Севастополь: ФГБУН МГИ. 2016. С. 155–156.
- [26] Белов С.Ю. Сопоставление когерентного и некогерентного методов определения параметра сигнал/шум в задачах распространения радиоволн коротковолнового диапазона // Ломоносовские чтения–2016. – М.: Физический факультет МГУ, 2016. С. 127–130.
- [27] Белов С.Ю., Белова И.Н. Геофизические методы мониторинга поверхностных и подповерхностных структур земли дистанционным зондированием в коротковолновом диапазоне радиоволн // "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". М.: ИКИ РАН, 2016. С. 302.
- [28] Белов С.Ю., Белова И.Н. Дистанционные методы изучения природных комплексов прибрежных районов Арктики в коротковолновом радиодиапазоне // Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов Арктической зоны. Архангельск, 2016. С. 30–36.
- [29] Белов С.Ю. Программно-аппаратный комплекс наземной измерительной установки когерентного приёма по исследованию рассеивающей способности земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн // XXIV Международная конференция «Ломоносов–2017». Сборник тезисов. М.: Физический факультет МГУ, 2017. С. 502–504.
- [30] Belov S.Yu. Monitoring of parameters of coastal Arctic ecosystems for sustainability control by remote sensing in the short-wave range of radio waves. // The Arctic Science Summit Week 2017. Prague. 2017. P. 161.
- [31] Belov S.Yu., Belova I.N. Environmental aspects of the use of remote sensing of the earth's surface in the short-wave range of radio waves. // IGCP 610 Third Plenary Conference and Field Trip "From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary", Astrakhan, Russia. / Ed.: A. Gilbert, V. Yanko-Hombach, T. Yanina. Moscow, MSU. 2015. P. 29–31.
- [32] Belov S.Yu., Belova I.N. The analysis of methods of determination the scattering parameter of the inhomogeneous fluctuating ionospheric screen // "Atmosphere, ionosphere, safety"(AIS–2016). / Ed. I.V. Karpov. – Kaliningrad, 2016. P. 435–440.
- [33] Belov S.Yu., Belova I.N. Methods of obtaining data on the characteristics of superficial and subsurface structures of the earth by remote sensing in the short-wave range of radio waves // IGCP 610 project "From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary" (2013-2017), GNAS Tbilisi, Georgia. 2016. P. 26–29.
- [34] Belov S.Yu. The analysis of monitoring data of the parameter scattering power the earth's surface in the short-wave range of radio waves // Data Intensive System Analysis for Geohazard Studies, Geoinformatics research papers, eISSN: 2308-5983, DOI: 10.2205/2016BS08Sochi. Vol. 4, No. 2, BS4002, 2016. P. 50.

- [35] Belov S.Yu., Belova I.N., Falomeev S.D. Monitoring of coastal ecosystems by method of remote sensing in the short-wave range of radio waves // *Managing Risks to Coastal Regions and Communities in a Changing World*, DOI: 10.21610/conferencearticle_58b4316d2a67c, St. Petersburg, 2016.

Для цитирования: Белов С. Ю. Сравнительное исследование различных методов определения характеристик электромагнитной волны, отражённой от рассеивающего дифракционного экрана при распространении радиосигнала в канале Земля–Ионосфера в коротковолновом диапазоне радиоволн с использованием экспериментальной аппаратуры когерентного приёма наземного измерительного комплекса // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2017. № 4(20). С. 9-27. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-20-4-9-27

For citation: Belov S. Yu. Comparative research of various methods for determining the characteristics of an electromagnetic wave reflected from a scattering diffraction screen in the propagation of a radio signal in the Earth-Ionosphere channel in the short-wave range of radio waves with use of the experimental equipment of coherent reception of a ground-based measuring complex, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2017, **20**: 4, 9-27. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-20-4-9-27

Поступила в редакцию / Original article submitted: 28.11.2017

DOI: 10.18454/2079-6641-2017-20-4-9-27

ATMOSPHERE PHYSICS

MSC 86A10

**COMPARATIVE RESEARCH OF VARIOUS METHODS
FOR DETERMINING THE CHARACTERISTICS OF
AN ELECTROMAGNETIC WAVE REFLECTED FROM
A SCATTERING DIFFRACTION SCREEN IN THE
PROPAGATION OF A RADIO SIGNAL IN THE
EARTH-IONOSPHERE CHANNEL IN THE
SHORT-WAVE RANGE OF RADIO WAVES WITH USE
OF THE EXPERIMENTAL EQUIPMENT OF
COHERENT RECEPTION OF A GROUND-BASED
MEASURING COMPLEX**

S. Yu. Belov

M.V. Lomonosov Moscow State University

E-mail: belov_sergej@mail.ru

Monitoring of the earth's surface by remote sensing in the short-wave band can provide quick identification of some characteristics of natural systems. This band range allows one to diagnose subsurface aspects of the earth, as the scattering parameter is affected by irregularities in the dielectric permittivity of subsurface structures. The new method is suggested. This method based on the organization of the monitoring probe may detect changes in these environments, for example, to assess seismic hazard, hazardous natural phenomena, changes ecosystems, as well as some man-made hazards and etc. The problem of measuring and accounting for the scattering power of the earth's surface in the short-range of radio waves is important for a number of purposes, such as diagnosing properties of the medium, which is of interest for geological, environmental studies. In this paper, we propose a new method for estimating the parameters of incoherent signal/noise ratio. The paper presents the results of comparison of the measurement method from the point of view of their admissible relative analytical errors. A comparative analysis and shows that the analytical (relative) accuracy of the determination of this parameter new method on the order exceeds the widely-used standard method. Analysis of admissible relative analytical error of estimation of this parameter allowed to recommend new method instead of standard method

Key words: SW-range, the scattering parameter signal/noise ratio, Ionosphere

© Belov S. Yu., 2017