

ISSN 1028-821X. Radiofiz. Electron. 2020. Vol. 25, No. 1: 21–27

DOI: <https://10.15407/rej2020.01.021>

УДК 621.396.96

PACS 07.87.+v; 84.40.-x; 89.60.Gg; 92.60.Mt; 92.60.Sz

Д.М. Бычков, В.К. Иванов, А.Я. Матвеев, В.Н. Цымбал, С.Е. Яцевич

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

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

E-mail: sey1959sey@gmail.com

Космическое радиолокационное наблюдение воздействия приповерхностного ветра на аномально узконаправленное рассеяние радиоволн при эоловой транспортировке песка и пыли в пустынных областях

Предмет и цель работы. Целью данной работы является исследование влияния ветра на аномальное рассеяние радиоволн при эоловых процессах транспортировки песка и пыли.

Методы и методология работы. В статье анализируются пространственные вариации приповерхностного ветра и их влияние на характеристики аномально узконаправленного обратного рассеяния радиоволн по данным многолетних исследований пустынных областей Эль-Джуф, Акшар и Трарза в Мавритании радиолокатором с синтезированной апертурой (РСА) искусственного спутника земли (ИСЗ) Envisat-1.

Результаты работы. Анализ данных РСА свидетельствует, что интенсивность рассеяния радиоволн на подветренных склонах песчаных гряд более чем на 12...15 дБ выше, чем от склонов, находящихся в зоне «ветровой тени», что свидетельствует о непосредственном влиянии приповерхностного ветра на обратное рассеяние радиоволн при эоловой транспортировке песка и пыли. Получены зависимости изменений коэффициента обратного рассеяния σ^0 от угла локального облучения θ вдоль сечений фрагментов однородных участков радиолокационных изображений поверхности.

Заключение. Данные РСА свидетельствуют, что пространственное распределение максимальных значений интенсивности аномально узконаправленного обратного рассеяния радиоволн соответствует пространственному распределению приповерхностного ветра. Интенсивность обратного рассеяния радиоволн, начиная со скорости 2 м/с и выше, устойчиво зависит от скорости ветра. Ил. 5. Библиогр.: 15 назв.

Ключевые слова: радиолокационное наблюдение, аномально узконаправленное обратное рассеяние радиоволн, эоловый перенос песка и пыли, приповерхностный ветер.

Эоловые процессы транспортировки песка и пыли ветром – мощная эрозионная сила, которая формирует дюны, песчаную рябь и загроужает атмосферу взвешенными аэрозолями пыли, распространяющимися на огромные расстояния [1]. Одной из областей, где регулярно (особенно в осенне-зимний период, когда с северо-востока практически постоянно дует ветер) развиваются крупномасштабные эоловые процессы, являются покрытые песчаными дюнами западные участки пустыни Сахара (Эль-Джуф, Акшар и Трарза), расположенные в Мавритании. Для этих участков (так называ-

емых «эргов») характерно наличие дюн и барханов, а также почти полное отсутствие растительности. Длина эрга может составлять более 600 км, ширина местами достигает 200 км. На многих радиолокационных изображениях этой области было обнаружено аномально интенсивное и узконаправленное увеличение обратного рассеяния радиоволн от песчаной поверхности, которое не могло быть объяснено в рамках традиционных представлений о механизме такого рассеяния [2–4]. В статье анализируются особенности воздействия приповерхностного ветра на аномально узконаправленное обратное

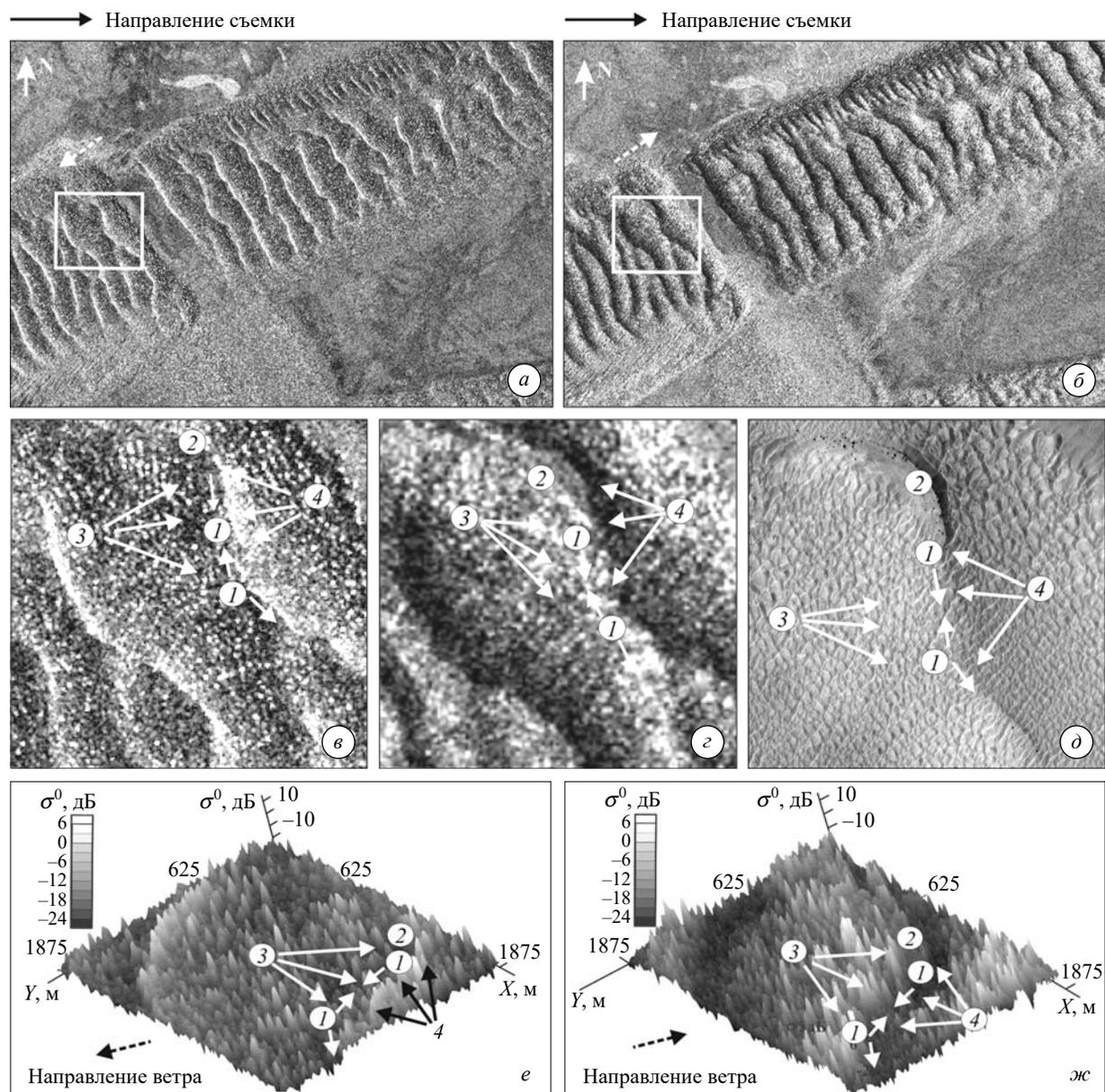


Рис. 1. Радиолокационные изображения (РЛИ) песчаных гряд участка эрга *Amatlich*, полученные PCA ИСЗ *Envisat* 21.12.2004 г. (а) и 18.02.2004 г. (б) (© ESA); в, з – фрагменты РЛИ, выделенные прямоугольниками на (а) и (б), соответствующие им трехмерные фрагменты РЛИ (е, ж) и оптическое (*Google maps*) изображение того же фрагмента (д)

рассеяние радиоволн, проявляющееся при радиолокационных исследованиях эоловых процессов транспортировки песка и пыли в пустынных районах, которые могут быть использованы для дистанционного определения параметров такой транспортировки.

1. Пространственные вариации приповерхностного ветра и их влияние на аномально узконаправленное обратное рассеяние радиоволн. Рассмотрим пару радиолокационных изображений одного и того же участка песчаных гряд эрга *Amatlich* неподалеку от по-

селка Акжужт в Мавритании, полученных в режиме высокого пространственного разрешения (~12 м) радиолокатором с синтезированной апертурой (РСА) искусственного спутника Земли (ИСЗ) *Envisat-1* (рис. 1).

На рис. 1, а приведено радиолокационное изображение (РЛИ) этого района, полученное 21 декабря 2004 г. Направление приповерхностного ветра в момент съемки, по данным [5], было юго-западное (на рис. 1, а, е – штриховая стрелка), на рис. 1, в приведено увеличенное РЛИ анализируемого участка и соответствующее

щее ему трехмерное изображение (рис. 1, *е*), по осям X и Y которого отложены расстояния по поверхности, а по оси Z – удельный коэффициент обратного рассеяния σ^0 . Также на рис. 1 приведено РЛИ этого же района песчаных гряд эрга *Amatlich*, полученное 18 февраля 2004 г. (рис. 1, *б*), его фрагмент (рис. 1, *з*) и соответствующее трехмерное изображение (рис. 1, *ж*). На рис. 1, *д* показано оптическое изображение выделенного участка песчаных гряд. Направление приповерхностного ветра в момент съемки, по данным [5], было северо-восточное (на рис. 1, *б*, *ж* – штриховая стрелка). Цифрами на всех изображениях обозначены: 1 – гребень песчаной гряды, 2 – вершина крупного бархана, 3 – юго-западный склон гряды, 4 – северо-восточный склон гряды.

Для анализа был выбран участок эрга, уклон которого не превышает 5...7 градусов. Анализ этих изображений убедительно свидетельствует, что, независимо от направления ветра, интенсивность рассеяния радиоволн на подветренном склоне песчаной гряды более чем на 12...15 дБ превышает интенсивность рассеяния от склона, находящегося в зоне «ветровой тени». Это свидетельствует о непосредственном влиянии приповерхностного ветра на обратное рассеяние радиоволн, проявляющееся при эоловой транспортировке песка и пыли в пустынных районах.

2. Воздействие приповерхностного ветра на электрическое поле вблизи песчаной поверхности. Очень важную роль в ионизации приповерхностного пространства и формировании аномально узконаправленного обратного рассеяния радиоволн при эоловых процессах перемещения песка и пыли [1–3] играют сильные электрические поля, возникающие при перемещении и соударении песчинок [6–8]. На рис. 2 [9] представлены экспериментальные результаты измерения напряженности электрического поля на различной высоте над поверхностью при эоловой транспортировке песка и пыли. Хорошо видно, что напряженность поля очень сильно увеличивается с уменьшением высоты, достигая (в условиях песчаных бурь) значений в 160...250 кВ/м, измеренных на высоте 1,5...2,0 см от поверхности. Эти сильные поля приводят к тому, что основная масса переносимого песка прижимается к поверхности.

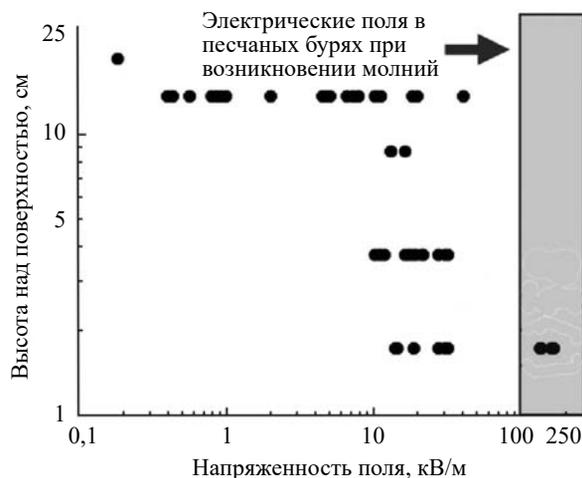


Рис. 2. Экспериментальные результаты измерения напряженности электрического поля на различной высоте над поверхностью при эоловой транспортировке песка и пыли [9]

Согласно [6, 10] и экспериментальным данным [8, 11], около 50 % массы песка переносится в слое 3...4 см над поверхностью, при этом максимум потока массы находится на высоте около 1 см над поверхностью.

Также в [9] отмечено, что при напряженности поля 160...250 кВ/м в переносимой песчано-пылевой массе (во время песчаных бурь) регулярно наблюдается возникновение мощных молниевых разрядов, но природа этого явления не совсем понятна, так как измеренные при этом значения напряженности поля не достигают величины пробивного напряжения для чистого воздуха (1,25 кВ/мм). Сама же воздушно-песчано-пылевая среда ведет себя как ионизированная – аналог пылевой плазмы, но с размером частиц от 20 до 500 мкм [12]. По результатам экспериментального исследования затухания СВЧ-излучения частотой 9,4 ГГц в пылевой буре с видимостью $V_b \approx 10$ м и проводимостью переносимого песка $2,634 + 0,734i$ [13], получено значение затухания 0,034 дБ/м, которое превышает более чем в 30 раз значения, рассчитанные по традиционной теории рассеяния. В [14] предложена аналитическая формула для оценки рассеянного затухания A СВЧ-радиоизлучения с волновым числом k при распространении в пылевой буре с видимостью V_b в предположении, что такое сильное затухание объясняется влиянием неоднородного пространственного распределения электрического заряда с поверхностной плотностью σ_q

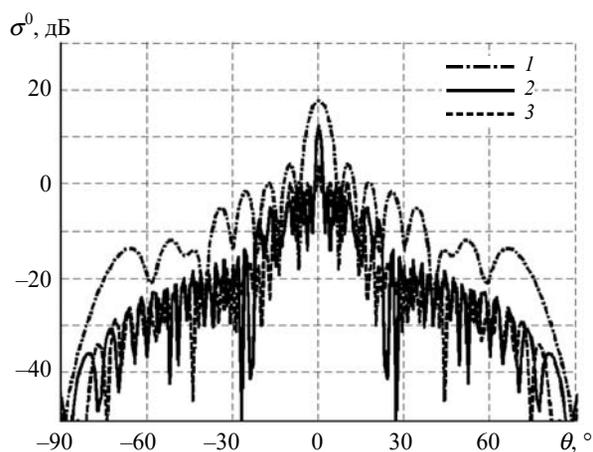


Рис. 3. Экспериментальные зависимости [15] σ^0 плоского прямоугольного плазменного образования при облучении радиоизлучением с частотой: кривая 1 – значительно ниже собственной частоты плазмы; кривая 2 – совпадающей с собственной частотой плазмы; кривая 3 – превышающей собственную частоту плазмы

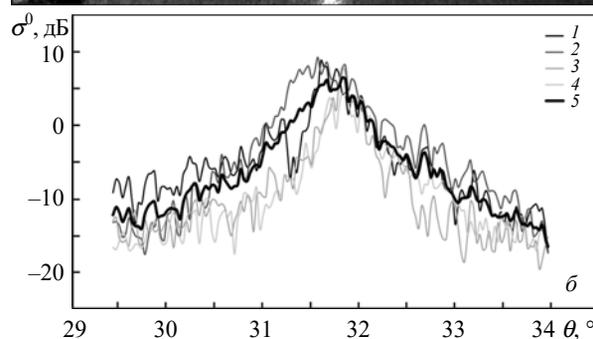
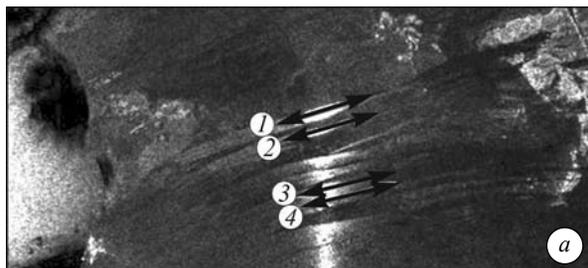


Рис. 4. Фрагмент PCA изображения (а) участка пустыни Тарза *Envisat-1 ASA_GMI_IP*, 2012-02-01 (© *ESA*) и соответствующие ему графики (б) зависимости коэффициента σ^0 от угла локального облучения θ вдоль сечений фрагментов 1–4 (кривая 5 – усредненная по данным кривых 1–4)

по поверхности песчинок относительно угла наблюдения $\theta(\sigma^0)$:

$$A = \frac{20}{V_b} k^4 D_s^4 \left[\frac{\epsilon_s - \epsilon_0}{\epsilon_s + 2\epsilon_0} \right]^2 + \frac{90}{V_b} D_s k \epsilon_s'' \left[\frac{\epsilon_s - \epsilon_0}{\epsilon_s + 2\epsilon_0} \right]^2 +$$

$$+ \frac{7,5}{9} k^4 D_s^6 C_\vartheta^2 \frac{\rho_s^2 (\epsilon_s - \epsilon_0)^2 \sin^2 \theta^2 (\sigma^0)}{\epsilon_0^4 E_i^2 (1 - \cos \theta_0)^2 V_b},$$

где D_s – диаметр песчинки; ϵ_0 – проводимость воздуха; ϵ_s – поверхностная проводимость песчинок; ϵ_s'' – проводимость песчинок относительно воздуха; C_ϑ – суммарный электрический заряд песчинки; ρ_s – плотность песчинки; E_i – напряженность поля излучения. К сожалению, в приведенных работах рассматривается только затухание СВЧ-радиоизлучения, а эффект рассеяния игнорируется.

Особенности рассеяния от плазменных образований исследовались в работе [15], где результаты экспериментов показали, что при облучении таких образований радиоизлучением с частотой, равной или превышающей собственную частоту плазмы, она ведет себя как частично рассеивающая диэлектрическая среда с потерями (рис. 3). Подобным образом ведет себя при СВЧ-облучении переносимая ветром песчано-пылевая смесь (рис. 4, б), находящаяся под воздействием сильного электрического поля, что, по нашему мнению, подтверждает предположение [1–3] о формировании ионизованного слоя, окаймляющего песчаную рябь при эоловой транспортировке.

3. Влияние скорости приповерхностного ветра на интенсивность аномально узконаправленного обратного рассеяния радиоволн при эоловой транспортировке песка и пыли. Определение зависимости интенсивности аномально узконаправленного обратного рассеяния радиоволн при эоловом переносе песчано-пылевой смеси проводилось по архивным радиолокационным изображениям ИСЗ *Envisat-1*, предоставленным *ESA* для выполнения проекта ID: C1F.30193. Они были подобраны при помощи онлайн-каталога *EOLI-SA* с учетом данных метеокарт о направлении и скорости приповерхностного ветра [5], откалиброваны по эффективной поверхности рассеяния (ЭПР), привязаны к карте и тематически обработаны с помощью стандартных программ, открыто предоставляемых *ESA* для обработки изображений (*NEST 4B-1.0*, *NEST 5.1*).

Для определения максимальных значений интенсивности рассеяния аналогично [1–3] строились графики изменений коэффициента

обратного рассеяния σ^0 от угла локального облучения θ вдоль сечений фрагментов наиболее однородных участков РЛИ поверхности, на которых проявлялись эффекты аномально узконаправленного обратного рассеяния радиоволн. Максимальные значения σ^0 наблюдались в интервале углов падения радиоволн $\theta = 31 \dots 32^\circ$.

На рис. 4, а приведен фрагмент РЛИ участка пустыни Трарза *Envisat-1 ASA_GMI_IP*, 2012-02-01, на рис. 4, б – соответствующие ему графики изменений коэффициента обратного рассеяния σ^0 от угла локального облучения θ вдоль сечений фрагментов 1–4. Сечения проведены через наиболее однородные участки поверхности, на которых проявляются эффекты аномально узконаправленного обратного рассеяния радиоволн. Более плотным черным цветом показаны усредненные зависимости $\sigma^0(\theta)$.

На рис. 5 представлена зависимость максимальных значений удельных коэффициентов обратного рассеяния σ^0 РЛИ пустынной поверхности западных участков пустыни Сахара (Эль-Джуф, Акшар и Трарза), на которых проявлялись эффекты аномально узконаправленного обратного рассеяния радиоволн (при радиолокационном облучении навстречу приповерхностному ветру) от усредненных (в пределах ± 1 м/с) значений скорости приповерхностного ветра, приведенных к высоте 1 м над поверхностью. Отчетливо видно, что интенсивность обратного рассеяния резко возрастает при скоростях приповерхностного ветра 2 м/с и более. При больших скоростях ветра наблюдается устойчивая зависимость интенсивности рассеяния от скорости ветра. При облучении песчаной поверхности вслед ветру проявлений аномально узконаправленного обратного рассеяния радиоволн не наблюдалось, σ^0 не превышала -23 дБ. Показанная на рис. 5 зависимость открывает возможность отработки методик обнаружения и оценки параметров эоловой транспортировки песка и пыли по космической радиолокационной информации.

Выводы. В статье анализируются экспериментальные результаты многолетних (2004–2012 гг.) исследований пустынных районов Эль-Джуф, Акшар и Трарза в Мавритании космическим РСА *Envisat-1*, направленными на выявление особенностей воздействия приповерхностного ветра на аномально узконаправленное

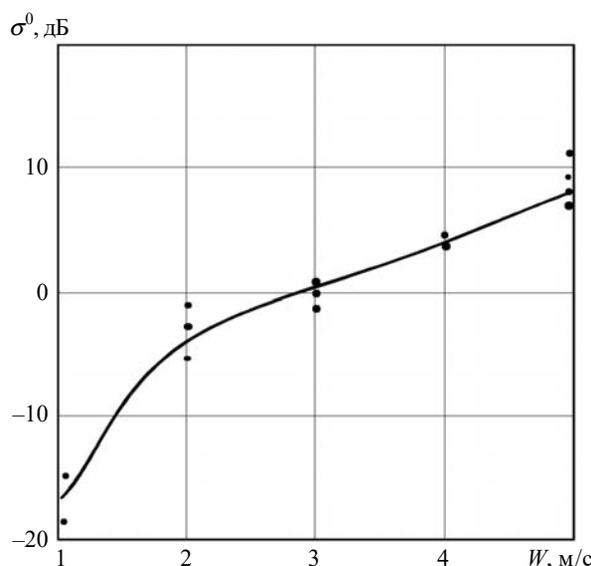


Рис. 5. Зависимость значений удельных коэффициентов обратного рассеяния σ^0 РЛИ западных участков пустыни Сахара, на которых проявлялись эффекты аномально узконаправленного обратного рассеяния радиоволн

обратное рассеяние радиоволн, проявляющееся при радиолокационных исследованиях эоловых процессов транспортировки песка и пыли в пустынных районах. Данные наблюдений с высоким пространственным разрешением убедительно свидетельствуют, что пространственное распределение максимальных значений интенсивности обратного рассеяния радиоволн соответствует пространственному распределению приповерхностного ветра. Интенсивность обратного рассеяния радиоволн (при радиолокационном облучении навстречу приповерхностному ветру) носит пороговый характер и резко возрастает при скоростях приповерхностного ветра 2 м/с и выше (приведенных к высоте 1 м над поверхностью). При больших скоростях ветра наблюдается устойчивая зависимость интенсивности рассеяния от скорости ветра. При облучении песчаной поверхности вслед ветру проявлений аномально узконаправленного обратного рассеяния радиоволн не наблюдалось. Полученные результаты открывают перспективы разработки методик обнаружения и оценки параметров эоловой транспортировки песка и пыли в пустынных районах Земли по данным космического радиолокационного мониторинга.

Работа выполнена в рамках проекта с ESA ID: C1F30193.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lancaster N. Aeolian features and processes. *The Geological Society of America*. 2009. P. 1–25. URL: <https://www.nature.nps.gov/geology/monitoring/files/geomon-01.pdf>
2. Ivanov V.K., Matveyev A.Ya., Tsymbal V.N., Yatsevich S.Ye. and Bychkov D.M. Radar Investigations of the Aeolian Sand and Dust Transporting Manifestations in Desert Areas. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2015. Vol. 74, N 14. P. 1269–1283.
3. Ivanov V.K., Matveyev A.Ya., Tsymbal V.N., Yatsevich S.Ye. and Bychkov D.M. Radar identification of desert regions as suppliers of dust in the atmosphere. *Telecommunications and Radio Engineering*. 2016. Vol. 75, N 10. P. 937–948.
4. Ivanov V.K., Matveyev A.Ya., Tsymbal V.N., Yatsevich S.Ye. and Bychkov D.M. Spaceborne radar identification of desert regions as suppliers of dust into the atmosphere. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2016. № 11. С. 39–47.
5. Archive data of the meteorological website. URL: <http://www.wetter3.de/Archiv/index.html>
6. Kok J.F., Renno N.O. Electrostatics in Wind-Blown Sand. *Phys. Rev. Lett.* 2008. Vol. 100, Iss. 1. P. 014501(4 p.). DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.100.014501>.
7. Stow C.D. Dust and sand storm electrification. *Weather*. 1969. Vol. 24, Iss. 4. P. 134–137. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1969.tb03165.x>.
8. Namikas S.L. Field measurement and numerical modelling of aeolian mass flux distributions on a sandy beach. *Sedimentology*. 2003. Vol. 50, Iss. 2. P. 303–326. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2003.00556.x>.
9. Kok J.F. *Understanding wind-blown sand and the electrification of granular systems*. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (*Applied Physics*) in The University of Michigan. 2009. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/1ba8/e7195fcad058d4af665043989ac5d9f9cfea.pdf>
10. Zheng X.J. Electrification of wind-blown sand: Recent advances and key issues. *Eur. Phys. J. E*. 2013. Vol. 36, Iss. 12. 15 p. DOI: <https://doi.org/10.1140/epje/i2013-13138-4>.
11. Greeley R., Blumberg D.G., Williams S.H. Field measurements of the flux and speed of wind-blown sand. *Sedimentology*. 1996. Vol. 43, Iss. 1. P. 41–52. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1996.tb01458.x>.
12. Haddad S., Salman M.J.H., Jha R.K. Effects of Dust Sandstorms on Some Aspects of Microwave Propagation. *Proc. URSI Comm. F Symp.* Louvain-la-Neuve, Belgium, ESA publication, 1983. SP-194. P. 153–161.
13. Фортгов В.Е., Храпак А.Г., Храпак С.А., Молотков В.И., Петров О.Ф. Пылевая плазма. *Успехи физических наук*. 2004. Т. 174, вып. 5. С. 495–544. DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.0174.200405b.0495>.
14. You-He Zhou, Qin Shu He, Xiao Jing Zheng. Attenuation of electromagnetic wave propagation in sandstorms incorporating charged sand particles. *Eur. Phys. J. E*. 2005. Vol. 17, Iss. 2. P. 181–187. DOI: <https://doi.org/10.1140/epje/i2004-10138-5>.
15. Mohd Taufik Jusoh Tajudin. *Study and design of reconfigurable antennas using plasma medium*. Electronics. Université Rennes 1, 2014. English. URL: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01060295/document>.

Стаття надійшла 10.04.2019

REFERENCES

1. Lancaster, N., 2009. Aeolian features and processes. *The Geological Society of America*, pp. 1–25. URL: <https://www.nature.nps.gov/geology/monitoring/files/geomon-01.pdf>
2. Ivanov, V.K., Matveyev, A.Ya., Tsymbal, V.N., Yatsevich, S.Ye., 2015. Radar Investigations of the Aeolian Sand and Dust Transporting Manifestations in Desert Areas. *Telecommunications and Radio Engineering*, **74**(14), pp. 1269–1283. DOI: <https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v74.i14.40>.
3. Ivanov, V.K., Matveyev, A.Ya., Tsymbal, V.N., Yatsevich, S.Ye. and Bychkov, D.M., 2016. Radar identification of desert regions as suppliers of dust in the atmosphere. *Telecommunications and Radio Engineering*, **75**(10), pp. 937–948. DOI: <https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v75.i10.70>.
4. Ivanov, V.K., Matveyev, A.Ya., Tsymbal, V.N., Yatsevich, S.Ye. and Bychkov, D.M., 2016. Spaceborne radar identification of desert regions as suppliers of dust into the atmosphere. *Ukrainian journal of remote sensing*, **11**, pp. 39–47.
5. Archiv-Version des Animationstools. URL: <http://www.wetter3.de/Archiv/index.html>.
6. Kok, J.F., Renno, N.O., 2008. Electrostatics in Wind-Blown Sand. *Phys. Rev. Lett.*, **100**(1), pp. 014501(4 p.). DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.100.014501>.
7. Stow, C.D., 1969. Dust and sand storm electrification. *Weather*, **24**(4), pp. 134–137. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1969.tb03165.x>.
8. Namikas, S.L., 2003. Field measurement and numerical modelling of aeolian mass flux distributions on a sandy beach. *Sedimentology*, **50**(2), pp. 303–326. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2003.00556.x>.
9. Kok, J.F., 2009. *Understanding wind-blown sand and the electrification of granular systems*. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (*Applied Physics*) in The University of Michigan. [pdf]. Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/1ba8/e7195fcad058d4af665043989ac5d9f9cfea.pdf>
10. Zheng, X.J., 2013. Electrification of wind-blown sand: Recent advances and key issues. *Eur. Phys. J. E*, **36**(12), 15 p. DOI: <https://doi.org/10.1140/epje/i2013-13138-4>.
11. Greeley, R., Blumberg, D.G., Williams, S.H., 1996. Field measurements of the flux and speed of wind-blown sand. *Sedimentology*, **43**(1), pp. 41–52. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1996.tb01458.x>.
12. Fortov, V.E., Khrapak, A.G., Khrapak, S.A., Molotkov, V.I., Petrov, O.F., 2004. Dusty plasmas. *Phys. Usp.*, **47**(5), pp. 447–492. DOI: <https://doi.org/10.1070/PU2004v047n05ABEH001689>.

13. Haddad, S., Salman, M.J.H., Jha, R.K., 1983. Effects of Dust Sandstorms on Some Aspects of Microwave Propagation. *Proc. URSI Comm. F Symp.*, Louvain-la-Neuve, Belgium, ESA Publ., SP-194, pp. 153–161.
14. You-He Zhou, Qin Shu He, Xiao Jing Zheng, 2005. Attenuation of electromagnetic wave propagation in sandstorms incorporating charged sand particles. *Eur. Phys. J. E*, **17**(2), pp. 181–187. DOI: <https://doi.org/10.1140/epje/i2004-10138-5>.
15. Mohd Taufik Jusoh Tajudin, 2014. *Study and design of reconfigurable antennas using plasma medium*. Electronics. Université Rennes 1, 2014. English. URL: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01060295/document>.

Received 10.04.2019

D.M. Bychkov, V.K. Ivanov, A.Ya. Matveev, V.N. Tymbal, S.E. Yatsevich

O.Ya. Usikov IRE of NASU

12, Acad. Proskura St., Kharkiv, 61085, Ukraine

SPACE-BORNE RADAR OBSERVATION OF NEAR-SURFACE WIND EFFECT ON ANOMALOUSLY HIGHLY-DIRECTIONAL BACKSCATTERING OF RADIO WAVES FROM AEOLIAN PROCESSES OF SAND AND DUST TRANSPORTING IN DESERT REGIONS

Subject and Purpose. The purpose of this work is to study the effect of wind on the anomalous scattering of radio waves during aeolian processes of sand and dust transporting.

Methods and Methodology. The article analyzes the spatial variations of the near-surface wind and their effect on the characteristics of anomalously narrowly directed radio wave backscattering according to the long-term studies of desert regions of Al-Jouf, Akshar and Trarza in Mauritania by Envisat-1 satellite SAR.

Results. Analysis of SAR data indicates that intensity of radio wave scattering on the leeward slopes of sand ridges is more than 12...15 dB higher than the one from the slopes located in the “wind shadow” zone, which indicates the direct influence of the surface wind on the back scattering of radio waves during aeolian sand and dust transportation. The dependences of changes in the backscattering coefficient σ^0 on the angle of local irradiation θ along sections of fragments of homogeneous sections of the surface radar images are obtained.

Conclusion. SAR data indicate that the spatial distribution of the maximum intensity values of anomalously narrowly directed backscattering of radio waves corresponds to the spatial distribution of the near-surface wind. The intensity of backscattering of radio waves, starting at a speed of 2 m/s and higher, steadily depends on the wind speed.

Key words: radar observation, anomalously narrowly directed backscattering of radio waves, aeolian transport of sand and dust, near-surface wind.

Д.М. Бичков, В.К. Іванов, О.Я. Матвеев, В.М. Цимбал, С.Є. Яцевич

Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України

12, вул. Акад. Проскури, Харків, 61085, Україна

КОСМІЧНЕ РАДІОЛОКАЦІЙНЕ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРИПОВЕРХНЕВОГО ВІТРУ НА АНОМАЛЬНО ВУЗЬКОСПРЯМОВАНЕ РОЗСІЮВАННЯ РАДІОХВИЛЬ ПРИ ЕОЛОВОМУ ТРАНСПОРТУВАННІ ПІСКУ ТА ПИЛУ В ПУСТЕЛЬНИХ ОБЛАСТЯХ

Предмет і мета роботи. Метою роботи є дослідження впливу вітру на аномальне розсіювання радіохвиль при еолових процесах транспортування піску і пилу.

Методи і методологія роботи. У статті аналізуються просторові варіації приповерхневого вітру і їх вплив на характеристики аномально вузькоспрямованого зворотного розсіювання радіохвиль за даними багаторічних досліджень пустельних областей Ель-Джуф, Акшар і Трарза в Мавританії радіолокатора із синтезованою апертурою (РСА) штучного супутника Землі (ШСЗ) *Envisat-1*.

Результати роботи. Аналіз даних РСА свідчить, що інтенсивність розсіювання радіохвиль на підвітряних схилах піщаних гряд більш ніж на 12...15 дБ вища, ніж від схилів, які перебувають у зоні «вітрової тіні». Це свідчить про безпосередній вплив приповерхневого вітру на зворотне розсіювання радіохвиль при еоловому транспортуванні піску і пилу. Отримано залежності змін коефіцієнта зворотного розсіювання σ^0 від кута локального опромінення θ уздовж перетинів фрагментів однорідних ділянок радіолокаційних зображень поверхні.

Висновок. Дані РСА свідчать, що просторовий розподіл максимальних значень інтенсивності аномально вузькоспрямованого зворотного розсіювання радіохвиль відповідає просторовому розподілу приповерхневого вітру. Інтенсивність зворотного розсіювання радіохвиль, починаючи зі швидкості 2 м/с і вище, стійко залежить від швидкості вітру.

Ключові слова: радіолокаційне спостереження, аномально вузькоспрямоване зворотне розсіювання радіохвиль, еолове перенесення піску і пилу, приповерхневий вітер.